

**Vergleich der dorso-palmaren und palmaro-  
proximal –palmaro-distalen Schrägaufnahme des  
Strahlbeins mit und ohne Kontrastmittel in der  
Bursa podotrochlearis an der Vordergliedmaße des  
Pferdes**

von Christian Staufenbiel

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

**Vergleich der dorso-palmaren und palmaro-  
proximal –palmaro-distalen Schrägaufnahme des  
Strahlbeins mit und ohne Kontrastmittel in der  
Bursa podotrochlearis an der Vordergliedmaße des  
Pferdes**

von  
Christian Staufenbiel  
aus Berlin  
München 2017

**Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes  
sowie für Gerichtliche Tiermedizin

**Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards**

Angerfertigt in: Tierklinik Wieda Grund in Rotenburg Wümme

Mentor: Dr. Stephan Leser

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

**Dekan:** Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

**Berichterstatter:** Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

**Korreferent/en:** Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

**Tag der Promotion: 11. Februar 2017**

# 1. Inhaltsverzeichnis

<b>1. Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>2. Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>3. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>4. Literaturübersicht .....</b>	<b>2</b>
4.1 Anatomie der distalen Gliedmaße .....	2
4.1.1 Knöcherne Strukturen .....	2
4.1.1.1 Strahlbein .....	2
4.1.2 Bänder.....	3
4.1.3 Sehnen.....	4
4.1.4 Gefäße.....	4
4.1.5 Nerven.....	6
4.1.6 Synoviale Strukturen .....	7
4.2 Histologie .....	7
4.2.1 1Knorpel .....	7
4.2.2 Knochen.....	9
4.2.2.1 Lamellenknochen.....	9
4.2.2.2 Geflechtknochen .....	9
4.2.2.3 Knochenentwicklung .....	10
4.2.3 Knochenstoffwechsel.....	10
4.2.3.1 Osteoblasten.....	11
4.2.3.2 Osteoklasten.....	11
4.2.3.3 Osteozyten.....	12
4.2.3.4 Signalstoffe .....	13
4.2.3.5 Bone remodelling.....	14
4.3 Die Osteoarthritis.....	15
4.3.1 Morphologische Veränderungen .....	15
4.3.2 Pathophysiologische Mechanismen.....	16
4.3.2.1 Gelenkknorpelveränderungen .....	16
4.3.2.2 Subchondraler Knochen.....	17
4.3.3 Osteoarthritis und Schmerz .....	18
4.4 Podotrochlose .....	19
4.4.1 Definition.....	19
4.4.2 Makroskopische Veränderungen .....	21
4.4.3 Histologische Veränderungen.....	22
4.4.4 Ätiologie der Podotrochlose .....	22
4.4.4.1 Genetische Disposition .....	23

4.4.4.2	Biomechanische Komponenten .....	23
4.4.4.3	Ischämietheorie .....	24
4.4.4.4	Aseptische Podarthrititis und Podotrochlose .....	25
4.5	Röntgentechnik.....	27
4.5.1	Röntgenstrahlung.....	28
4.5.2	Röntgendetektoren.....	29
4.5.2.1	Bildentstehung .....	29
4.5.2.2	Qualitätsparameter .....	30
4.5.2.3	Bildverarbeitung .....	31
4.5.3	Bildauswertung.....	34
4.5.4	Strahlenschutz.....	35
4.5.5	Röntgenprojektionen.....	35
4.5.5.1	Oxspringaufnahme .....	36
4.5.5.1.1	Ursprung .....	36
4.5.5.1.2	Vorbereitung .....	36
4.5.5.1.3	Lagerung .....	37
4.5.5.1.4	Ausrichtung des Zentralstrahles.....	37
4.5.5.1.5	Belichtungswerte.....	38
4.5.5.1.6	Abbildung .....	38
4.5.5.2	Skylineaufnahme.....	38
4.5.5.2.1	Ursprung .....	38
4.5.5.2.2	Vorbereitung .....	39
4.5.5.2.3	Lagerung .....	39
4.5.5.2.4	Ausrichtung Zentralstrahl .....	39
4.5.5.2.5	Abbildung .....	39
4.5.6	Auswertung.....	40
4.5.6.1	Einzelne Befunde .....	42
4.6	Kontrastradiographie der Bursa podotrochlearis.....	43
4.6.1	Vorbereitung .....	44
4.6.2	Applikationsroute .....	45
4.6.3	Kontrastmittel .....	46
4.6.4	Auswertung.....	46
4.7	Präparation.....	47
<b>5.</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>50</b>
5.1	Untersuchungsmaterial .....	50
5.2	Vorbereitung der Beine .....	50
5.3	Anfertigen der Röntgenbilder.....	52
5.3.1	Oxspringaufnahmen.....	52
5.3.2	Skylineaufnahmen .....	52

5.3.3	Kontrastmittelapplikation .....	53
5.3.4	Röntgenstrahler.....	54
5.3.5	Röntgensystem.....	54
5.4	Präparation.....	57
5.5	Auswertung der Röntgenbilder.....	58
5.6	Auswertung der Präparationen .....	73
5.6.1	Präparation der Facies flexoria und der tiefen Beugesehne.....	74
5.6.2	Präparation des Kronbeins .....	76
5.6.3	Präparation der Facies articularis und des Hufbeins.....	77
5.7	Auswertungsroutine.....	77
5.8	Statistische Auswertung .....	79
<b>6.</b>	<b>Untersuchungsergebnisse.....</b>	<b>80</b>
6.1	Deskriptive Statistik .....	80
6.1.1	Auswertung Oxspringaufnahme nach RÖLF .....	80
6.1.2	Auswertung Oxspringaufnahme nach Dyson .....	81
6.1.3	Auswertung Skylineaufnahmen.....	82
6.1.4	Auswertung Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel.....	83
6.1.5	Auswertung Skylineaufnahme mit Kontrastmittel .....	84
6.1.6	Auswertung Präparation .....	85
6.1.7	Klasseneinteilung.....	85
6.1.8	Röntgenklassen nach RÖLF Oxspringaufnahme.....	87
6.1.9	Einteilung in Gruppen Oxspringaufnahme .....	87
6.1.10	Einteilung in Gruppen Skylineaufnahme.....	87
6.1.11	Einteilung in Gruppen nach Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel	88
6.1.12	Einteilung in Gruppen nach Skylineaufnahme mit Kontrastmittel	88
6.1.13	Einteilung Hufrolle .....	89
6.1.14	Applikation des Kontrastmittels .....	89
6.2	Vergleich der Gruppen .....	92
6.2.1	Oxspringaufnahme nach RÖLF.....	92
6.2.2	Oxspringaufnahme.....	94
6.2.3	Skylineaufnahme .....	98
6.2.4	Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel .....	102
6.2.5	Skylineaufnahme mit Kontrastmittel.....	106
6.2.6	Röntgenprojektionen im Vergleich.....	110
6.2.7	Abweichungen von Röntgenklassen und Präparation .....	111
6.2.8	Serienuntersuchung.....	112
6.2.9	Darstellung von Schäden an der TBS.....	115
6.3	Bewertung der Knorpeloberfläche .....	119
6.4	Besondere Fälle .....	121

6.4.1 Bein 65.....	121
6.4.2 Bein 71.....	123
6.4.3 Bein 41.....	124
6.4.4 Bein 46.....	125
<b>7. Diskussion.....</b>	<b>126</b>
7.1 Diskussion der Methode .....	126
7.1.1 Röntgenaufnahmen .....	126
7.1.2 Probenmaterial .....	128
7.1.3 Röntgentechnik .....	128
7.1.4 Präparation und Klasseneinteilung .....	130
7.2 Diskussion der Ergebnisse.....	131
7.2.1 Qualität der Aufnahmen .....	131
7.2.2 Punktion der Bursa und Technik der Bursographie.....	132
7.2.3 Auswertung der Röntgenbilder.....	134
7.2.4 Spezielle Merkmale der Bursographie.....	137
7.2.5 Klinisches Beispiel .....	140
7.3 Schlussfolgerungen.....	141
<b>8. Zusammenfassung .....</b>	<b>142</b>
<b>9. Summary .....</b>	<b>144</b>
<b>10. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>146</b>
<b>11. Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>164</b>
<b>12. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>168</b>
<b>13. Anhang.....</b>	<b>173</b>
13.1 Auswertungsdaten .....	173
13.2 Sensitivität und Spezifität .....	177
13.3 Berechnungsgrundlage der Korrelation.....	181
13.4 Danksagung .....	184



## 2. Abkürzungsverzeichnis:

A	Arterie
Aa	Arterien plural
BMU	basic multicellular unit
CCD	charge-coupled device
CFU	colony forming units
CMOS	complementary metal-oxide-semiconductor
CR	Digitale Lumineszenzradiographie
CS	canals sesamoidalis (plural)
CSF	colony-stimulating factor
CSL	collateral sesamoidean ligament
CT	Computertomografie
DICOM:	digital imaging and communications in medicine standard
DIN	Deutsche Industrienorm
DQE	detective quantum efficiency
DR	digitales Flachdetektorsystem
DSIL	distal sesamoidean impar ligament
engl	englisch
G	Gauge
IL-1	Interleukin 1
ISO	Internationale Organisation für Normung
Lig	Ligamentum
Ligg	Ligamenti plural
LP	Linienpaare
mA	Milliampere
mAs	Produkt aus Milliampere und Sekunden

MMP	Matrix-Metalloproteinase
MRT	Magnetresonanztomografie
N	Nerv
ND	navicular disease
NO	Stickstoffmonoxid
OA	Osteoarthritis
OPG	Osteoprotegerin
OSN	Os naviculare bzw. Strahlbein
OsX	Osterix)Gen
PACS:	picture archiving and communication systems
RANKL	receptor activator of nuclear factor-Ligand
RIS	Radiologieinformationssysteme
RunX2	runt-related transcription factor Gen
TBS	tiefe Beugesehne des Zehenbeugers
TGF	transforming growth factor
TNF	Tumornekrosefaktor
TPA	tiefe Palmarnervenanästhesie
V	Vene

### 3. Einleitung

Erkrankungen der distalen Vordergliedmaße beim Pferd sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Bei 22,0% der Hannoveraner Auktionspferde finden sich röntgenologische Befunde am Strahlbein (Stock, Hamann et al. 2004). Sie führen unter Umständen zur Unbrauchbarkeit des Pferdes und stellen eine der häufigsten Lahmheitsursache dar. Aus dieser Problematik heraus wird seit mehr als 100 Jahren intensiv an Ursachen, Diagnose und Behandlungen geforscht.

Diese Untersuchungen führten zu einer Vielzahl von verschiedenen Definitionen von Krankheitskomplexen. Anfangs bildeten klinische Befunde die Grundlage für die Diagnose. Durch große Fortschritte in der Technik der bildgebenden Verfahren, sind die Magnetresonanztomographie und die Computertomografie für die Pferdemedizin routinemäßig nutzbar. Dieser Fortschritt führte zu einer besseren Differenzierung der einzelnen Krankheitsbilder. Die Magnetresonanztomographie kann Schädigungen in sehr frühen Stadien feststellen. Trotz all dieser Vorteile bleibt den Schnittbildtechniken der große Nachteil der geringen Verfügbarkeit und den sehr hohen Kosten für die Untersuchung.

Fast jede Pferdepraxis verfügt heute über eine digitale Röntgenanlage. Somit ist diese Technik sehr gut verfügbar. Die Röntgenuntersuchung ist meist am wachen Pferd oder nur leicht sedierten Pferd durchführbar. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit auf die Röntgenprojektionen der distalen Gliedmaße eingegangen. Es werden die „Oxspring“ und „Skyline“ Aufnahmen verglichen und ihre Aussagekraft im Vergleich mit einem makroskopischen Präparat beurteilt.

Die kaum beachtete Technik der Bursographie soll in dieser Arbeit weiter untersucht werden. Bei der Bursographie wird ein Röntgenkontrastmittel in die Bursa podotrochlearis injiziert und anschließend eine Oxspringaufnahme, Skylineaufnahme und ggfs. weitere Projektionen angefertigt. Es soll geklärt werden ob diese Technik praktisch durchführbar ist. Außerdem soll die Aussagekraft über die Beschaffenheit der Hufrolle überprüft werden. Des Weiteren sollen Merkmale auf den Bursogrammen überprüft werden, anhand derer Aussagen über die Beschaffenheit des Knorpels der Facies flexoria des Strahlbeins und die strahlbeinwärtigen Oberfläche der tiefen Beugesehne getroffen werden können.

## **4. Literaturübersicht**

### **4.1 Anatomie der distalen Gliedmaße**

Die Anatomie ist die Grundlage, um radiologische Bilder zu verstehen und pathologische Abweichungen zu erkennen. Die hier erläuterten Ausführungen sind nur Zusammenfassungen der ausführlichen anatomischen Werke (Nickel et al. 2003, Wissdorf 2010). Auf Besprechung der Hornkapsel wird verzichtet. Eine Zusammenfassung der Anatomie und Röntgenanatomie bildet die Arbeit von Erdmann (2009).

#### **4.1.1 Knöcherne Strukturen**

Die knöcherne Grundlage des Pferdefußes bilden das Röhr-, Fessel-, Kron- und Hufbein. Als Fachbezeichnungen sind verschiedene Bezeichnungen geläufig. Die Zehenknochen werden auch Phalanges proximales, mediales und distales bezeichnet. Im angelsächsischen Raum ist die Bezeichnung P1, P2 und P3 üblich (Coomer et al. 2013). Dabei ist P3 das Hufbein.

Das Hufbein zeigt eine außerordentliche Adaption an seine Funktion (Parks 2003). Das Hufbein ist ein rein spongiöser Knochen und besitzt nicht wie andere Knochen eine Kompakta und einen Markraum (Budras 2013). Am Hufbein werden drei Oberflächen, die Facies solearis, Facies parietalis und die Facies articularis. An der Facies articularis ist die Artikulationsfläche zum Kronbein und zum Strahlbein zu unterscheiden. In der nicht porösen Sohlenfläche, wird die Facies flexoria durch die halbmondförmige Linie von der eigentlichen Sohlenfläche dem Planum cutaneum, abgegrenzt. In der halbmondförmigen Linie befinden sich noch die Foramina solearis. Die Facies parietalis ist sehr porös und gewährleistet die Anhaftung und Versorgung der Lederhaut. „Die feinen Knochenkanälchen dürfen im Röntgenbild nicht mit Frakturlinien verwechselt werden“ (Wissdorf 2010). Der Hufknorpel setzt proximo-palmar an das Hufbein an. Das proximale Drittel des Hufknorpels reicht über die Hornkapsel hinaus und kann palpiert werden (Wissdorf 2010).

##### **4.1.1.1 Strahlbein**

Das Strahlbein oder auch Os sesamoideum distale bzw. Os naviculare (engl. Navicular bone) ist kein direkt Last aufnehmender Knochen. „Das Strahlbein ist wie ein Weberschiffchen geformt und verjüngt sich seinen Enden hin“ (Wissdorf 2010). Das Strahlbein hat sechs

Zonen, die Facies articularis, Facies flexoria, Margo proximalis, Margo distalis, Facies medialis und lateralis.

Dorsal liegt die Facies articularis (phalangis mediae). „Sie ist von hyalinem Knorpel überzogen und dient zur Artikulation mit dem distalen Ende des Kronbeins“ (Wissdorf 2010). Auf der palmaren Fläche liegt die Facies flexoria. Sie „...ist von Faserknorpel überzogen, der die distale Gleitfläche, Scutum distale, für die tiefe Beugesehne bildet“ (Wissdorf 2010). Besonders prominent sticht der in der medianen, parallel zur Zehenachse laufende Sagittalkamm hervor. „Bei etwa 25% aller Pferde werden knorpelfreie Bezirke gefunden, [...]. Sie liegen auf oder seitlich des Sagittalkammes“ (Wissdorf 2010). Die Facies flexoria ist deutlich breiter als die ihr gegenüberliegende Facies articularis.

Die distale Seite ist in dorso-palmarer Richtung in die Facies articularis phalangis distalis, Zona intermedia und den Margo ligamenti unterteilt. Der Margo ligamenti bietet dem Hufbein-Strahlbeinband (Ligamentum sesamoideum distale impar) den Ursprung. An der mit Synovialzellen bedeckten Zona intermedia befinden sich die Foraminae nutriciae, die die Öffnungen der Canales sesamoidales distales bilden. Am Margo distalis sind häufig verschieden tiefe Einkerbungen zu finden. Diese sind mit Synovialmembranen ausgekleidet und stehen mit dem Hufgelenk in Verbindung. Sie sind physiologisch. Sie können sich jedoch bei pathologischen Prozessen in ihrer Form verändern (Poulos und Smith 1988). Die „Facies articularis phalangis distalis, [...], ist eine von hyalinem Knorpel überzogene Fläche zur Artikulation mit dem Hufbein“ (Wissdorf 2010).

Der Margo proximalis „ist durch zahlreiche kleine Foraminae nutricia proximalia gekennzeichnet“ (Wissdorf 2010). An ihm setzen die Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder an. Die Facies medialis und lateralis dienen „dem Ansatz der Gelenkkapsel, des Hufknorpel-Strahlbeinbandes und der Bursa podotrochlearis“ (Wissdorf 2010).

#### **4.1.2 Bänder**

Als seitliche Stabilisierung zwischen Kron- und Hufbein gibt es sowohl lateral als auch medial die Ligamentae collateralia. Der Hufbeinknorpel ist über drei paarige Bänder mit dem Hufbein (Lig. chondroungulare), mit dem Kronbein (Lig. chondrocoronale) und dem Fesselbein (Lig. chondrocompedale) verbunden.

Das Strahlbein ist durch die Strahlbeinbänder befestigt. Das Strahlbein-Hufbeinband (Lig. sesamoideum distale impar (bzw. Distal Sesamoidean Impar Ligament, DSIL) verbindet den distalen Strahlbeinrand mit dem Hufbein (Salomon 2008). Es „verbreitert sich vom Margo ligamenti des Strahlbeins aus zum hinteren Rand der Hufbeinsohlenfläche“ (Wissdorf 2010). Es ist so Teil der Hufgelenkkapsel und liegt zwischen dem Hufgelenk und der Bursa podotrochlearis. Nach proximal wird das Strahlbein durch die Sesambeinhaltebänder (Ligg. sesamoidea collateralia (bzw. Collateral Sesamoidean Ligaments, CSLs) aufgehängt. Sie entspringen an den distalen Bandgruben des Fesselbeins und inserieren in ihrem Weg erst am axialen Teil des Hufknorpels und dann am Margo proximalis des Strahlbeins.

In neuerer Literatur wird das T-Ligament erwähnt. Das T-Ligament besteht aus dem Ligg. sesamoidea collateralia, Teilen der Gelenkkapsel und dem „Kronbeinschenkel der TBS“ (Floyd 2009).

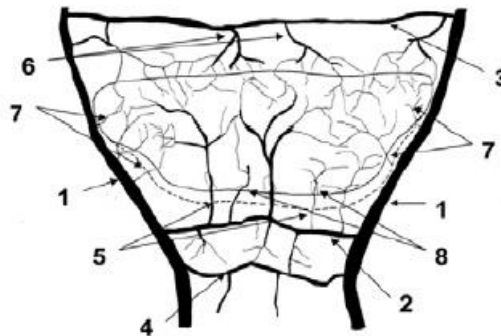
#### **4.1.3 Sehnen**

Dorsal am ausgeprägten Processus extensorius des Hufbeins inseriert breitflächig die Endsehne des Musculus extensoris digitalis communis, nachdem er die Unterstützungsäste des Musculus interosseus medius aufgenommen hat. Auf der palmaren Seite inseriert die tiefe Beugesehne breit gefächert an der Facies flexoria des Hufbeins. „Der Teil der tiefen Beugesehne, der im Bereich des Hufgelenks verläuft, wird in der Klinik als Insertionsabschnitt der tiefen Beugesehne bezeichnet“ (Wissdorf 2010). Die tiefe Beugesehne läuft vor ihrem Ansatz über das Strahlbein, dabei wird sie von der Bursa podotrochlearis unterlagert. Auf etwa der halben Höhe des Kronbeins gibt die tiefe Beugesehne einen „Kronbeinschenkel“ (Wissdorf 2010) an das Kronbein ab. Dieser Kronbeinschenkel trennt die palmaro-proximale Aussackung des Hufgelenks von der Fesselbeugesehnenscheide.

#### **4.1.4 Gefäße**

Die Hufregion wird von den palmaro-lateral bzw. palmaro-medial in der Fesselbeuge verlaufenden A. et V. digitalis palmaris lateralis / medialis versorgt. Die Arterien treten über die Foramina solearis in das Hufbein ein und bilden dort den Arcus terminalis (Parks 2003). Auf Höhe des Hufsaumes zweigen sich die A. coronae med./lat. ab, die dorsal eine Anastomose bilden. Auf etwa gleicher Höhe werden nach palmar die Rami tori ungulae lat./med. abgegeben, die den Hufballen versorgen. Kurz vor Eintritt in die Foramina solearis geben die Digitalarterien noch einen Gefäßstamm ab, aus denen jeweils die Rami

dorsalis/palmaris lat./med. entspringen. Diese dorsalen Rami bilden einen Teil der A. marginis solearis. Die palmaren Äste bilden zwei Anastomosen, die nicht näher bezeichnet sind (distaler Verbindungsast und Verbindungsast palmar des Hufbeins oder Ramus palmaris phalangis distalis). Gerade der distale Verbindungsast ist für die Versorgung des Strahlbeins von existenzieller Bedeutung. Er verläuft im Lig. sesamoideum distale impar. Aus ihm entspringen die Arterien (Aa. nutriciae distales), die von distal in das Strahlbein eintreten. Ein ähnlicher Verbindungsast zwischen lateraler und medialer Zehenarterie besteht auch proximal des Strahlbeins (proximaler Verbindungsast oder Ramus palmaris phalangis mediae). Dieses Gefäß verläuft in den Ligg. sesamoideum collaterale mediale und laterale. Aus ihm entspringen die Arterien, die von proximal in das Strahlbein eintreten (Aa. nutriciae proximales) (Nickel, et al. 2003, Hertsch und Maass 2009, Wissdorf 2010). Die Venen laufen größtenteils parallel zu ihren Arterien. Die von proximal und distal in das Strahlbein eintretenden Gefäße bilden ein fein aufgezweigtes Gefäßnetz (Dammer 1986, KhairElseed 2006). Eine Besonderheit ist der abaxial und axial des Hufknorpels liegende venöse Gefäßplexus, der eine Art „Saug-Druckpumpe“ bildet und den venösen Rückfluss gegen die Schwerkraft fördert (Budras 2013). Die Abbildung 1 zeigt schematisch den Verlauf der beschriebenen Blutgefäße. In Abbildung 2 sind die feinen Gefäße zu erkennen, die das Strahlbein durchziehen und versorgen.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der arteriellen Versorgung des Strahlbeins, Ansicht von dorsal nach palmar, unten ist distal (Hertsch and Maass 2009).** 1 – A. digitalis palmaris medialis/ lateralis; 2 – distaler Verbindungsast der Aa. digitales medialis et lateralis; 3 – proximaler Verbindungsast der Aa. digitales medialis et lateralis; 4 – Verbindungsast der Aa. digitales medialis et lateralis palmar des Hufbeins; 5 – distal in das Strahlbein eintretende Arterien; 6 – proximal in das Strahlbein eintretende Arterien; 7 – seitlich in das Strahlbein eintretende Arterien; 8 – Canales sesamoidales



**Abbildung 2: Röntgenaufnahme eines demineralisierten Strahlbein nach einem Arteriogramm, Ansicht von palmar nach dorsal, unten ist distal (Poulos and Smith 1988)**

#### **4.1.5 Nerven**

Die Hufregion des Vorderbeines wird von Ästen des N. medianus innerviert. Nach Wissdorf (2010) enthält der laterale Zehennerv auch sensible Fasern des Nervus ulnaris. Seine Äste, die Nervi digitalis palmaris medialis/lateralis, geben auf Höhe des Fesselgelenkes individuell unterschiedlich hoch noch einen Dorsalast ab. Dieser Ramus dorsalis versorgt dorsale Bereiche am Huf und Kronbein sowie deren Gelenke und Teile der dorsalen Lederhaut (Wissdorf 2010). Danach ziehen die Digitalnerven neben den Zehenarterien und Venen distal (Parks 2003).

Diese Aufteilung ist von wesentlicher Bedeutung, da bei einer tiefen Palmarnerven-anästhesie nur palmare Aspekte des Hufes betäubt werden. So ist eine Differenzierung zwischen schmerzhaften Prozessen möglich, die eher den hinteren Teil des Hufes oder vorderen Teil des Hufes betreffen. Bei der TPA 1 oder auch Ramus pulvinus Anästhesie wird am proximalen Rand des Hufknorpels eingestochen. Es sollten folgende anatomische Strukturen betäubt werden: Strahlbein, Bursa podotrochlearis, Hufknorpel, Hufgelenk (palmare und seitliche Anteile), Wandlederhaut, distale Anteile der TBS, palmare Anteile des Hufbeins, Strahl- und Ballenpolster einschließlich der Lederhaut. In der Praxis ebenfalls üblich ist die TPA 2, bei der das Lokalanästhetikum auf mittlerer Höhe der Fesselbeuge appliziert wird. Bei dieser Technik werden zusätzlich die Ligg. sesamoidea collateralia, palmare Anteile des Krongelenkes und distale Anteile der Gleichbeinbänder betäubt (Wissdorf 2010). In der aktuellen angelsächsischen Literatur wird diese Unterscheidung nicht durchgeführt. Es wird jedoch betont, den Block möglichst weit distal zu setzen, da ein höherer Block auch das Krongelenk betäuben kann (Schumacher et al. 2013).



#### 4.1.6 Synoviale Strukturen

Das Hufgelenk hat eine dorsale Ausbuchtung (Rec. dorsalis proximalis), „der unter dem Streckfortsatz und der Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers liegt und den Hornschuhrand 1-2cm überragt“ (Wissdorf 2010). Diese Ausbuchtung ist besonders prominent sichtbar bei einem gefüllten Hufgelenk. Nach palmaro-proximal, zwischen Kronbein und Strahlbein, erstreckt sich der Recessus palmaris proximalis. Nach palmaro-distal, durch die Artikulationsfläche von Hufbein und Strahlbein, stülpen sich kleine Aussackungen, die durch das Ligamentum sesamoideum distale impar von der Bursa podotrochlearis abgegrenzt werden. Diese Ausstülpung kontaktiert auch die Zona intermedia und bildet die Grundlage der Canales sesamoidales. Der Hufrollenschleimbeutel liegt zwischen dem Strahlbein und dem Strahlbein-Hufbeinband und der tiefen Beugesehne (Parks 2003, Budras 2013). Es ist umstritten, ob er mit dem Hufgelenk in Verbindung stehen kann (Parks 2003). In einem Versuch von Breit (1995) konnte in keinem Fall eine Verbindung gefunden werden. In dieser Arbeit wurde auch gezeigt, dass die Canales sesamoidales direkt über das palmaro-distale Kompartiment mit dem Hufgelenk in Verbindung stehen. In unmittelbarer Nachbarschaft zur palmaro-proximalen Hufgelenkaussackung und der Bursa podotrochlearis ist die Sehnenscheide der TBS. Diese drei Kompartimente werden an dieser Stelle nur durch das „T-Ligament“ getrennt (Floyd 2009). Dies ermöglicht einen endoskopischen Zugang über diese Sehnenscheide in die BP oder in das Hufgelenk (Rossignol and Perrin 2003). Abbildung 3 zeigt eine vereinfachte Schemazeichnung der palmaren Hufregion. In dieser Abbildung zeigt sich die Nähe der Hufgelenkaussackungen, der Bursa podotrochlearis und der Sehnenscheide der tiefen Beugesehne. Es werden ebenfalls die bereits beschriebenen Bänder und Sehnen dargestellt.

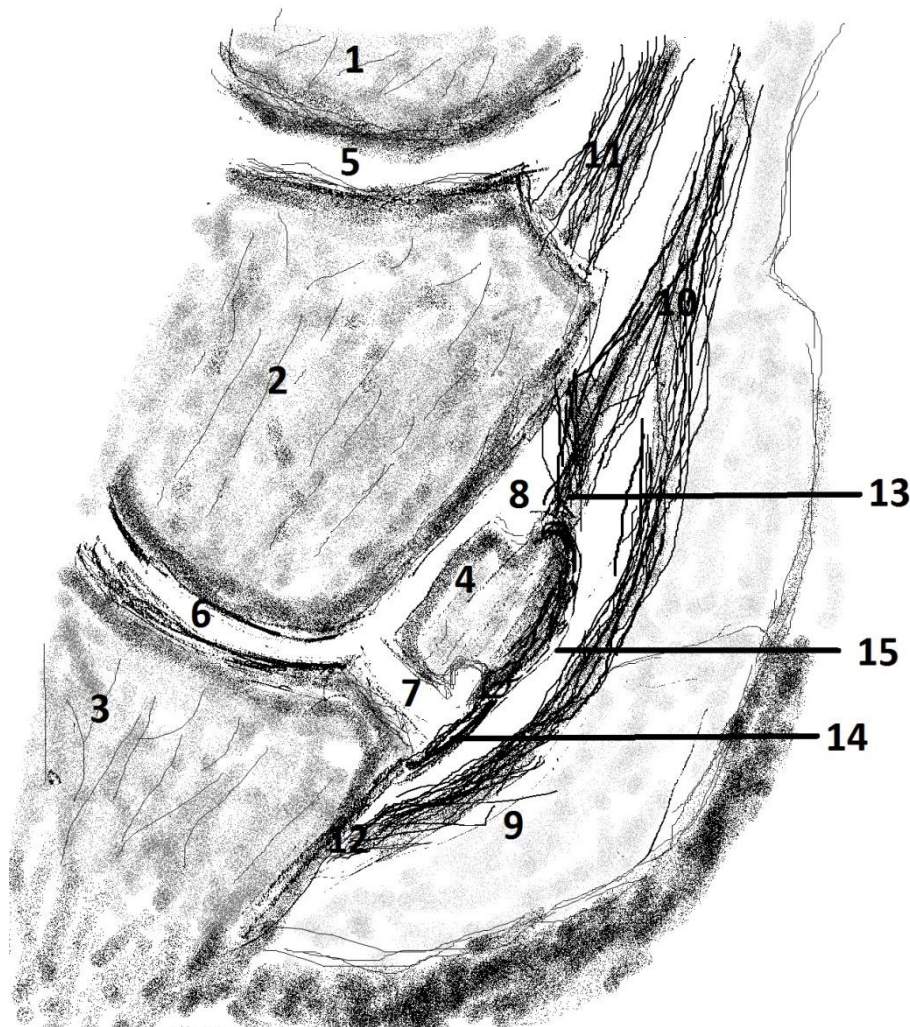
## 4.2 Histologie

In dem Kapitel wird auf wichtige histologische Eigenschaften des Knochen- und Knorpelgewebes eingegangen. Die Ausführungen sind aus der Monografie von Sinnowatz (2006) übernommen.

### 4.2.1 Knorpel

Beim Knorpelgewebe ist zwischen hyalinem und faserigem Knorpel zu unterscheiden. Die zelluläre Grundlage des Knorpels bilden die Chondrozyten. Diese treten meist gruppenweise

auf und sind von einem Knorpelhof umgeben. Diese Strukturen werden Chondrone oder auch Territorien genannt. Der zellfreie Zwischenraum wird demzufolge als Interterritorium bezeichnet. Seine Zusammensetzung unterscheidet sich stark zwischen den einzelnen Knorpelarten.



**Abbildung 3: Schematische Zeichnung, Sagittalschnitt der hinteren Hufregion.** 1 – Fesselbein; 2 – Kronbein; 3 – Hufbein; 4 – Strahlbein; 5 – Krongelenk; 6 – Hufgelenk; 7 – disto-palmare Aussackung des Hufgelenkes; 8 – proximo-palmare Hufgelenkaussackung; 9 – Ballenpolster; 10 – tiefe Beugesehne; 11 – oberflächliche Beugesehne; 12 – Ansatz tiefe Beugesehne; 13 – laterales Sesambeinhalteband; 14 – unpaares distales Sesambeinhalteband; 15 – Hufrollenschleimbeutel;

Beim hyalinen Knorpel liegen meist Kollagen Typ 2 Fasern vor. Diese sind „maskiert“ und nur im Polarisationsmikroskop zu erkennen. Diese Fasern sind den Belastungslinien angepasst ausgerichtet. Die Proteoglykane Hyaluron und Aggrecan bilden die Grundlage für die große Wasserbindungskapazität. Diese Zusammensetzung ist essentiell für die Funktion als Stoßdämpfer und für die Diffusion und somit den Stoffwechsel der Chondrozyten.

Im Faserknorpel liegen die Kollagenfaserbündel viel dichter und sind lichtmikroskopisch zu erkennen. Es überwiegt Kollagen Typ 1. Beide Knorpeltypen sind beim erwachsenen Säugetier frei von Blutgefäßen und zählen somit zu den bradytrophen Geweben.

Die Meinung, dass der Knorpel nur durch Diffusion von der Synovia versorgt wird, ist nicht plausibel. Mindestens 50% der Versorgung geht von Gefäßen des subchondralen Knochen aus, die teilweise auch tiefe Schichten des Knorpels penetrieren (Imhof et al. 2000).

#### **4.2.2 Knochen**

Makroskopisch besteht der Röhrenknochen aus der außen liegenden Kompakta und der innen liegenden Spongiosa. Die Kompakta besteht aus Lamellenknochen, die Spongiosa aus Geflechtknochen. Grundsätzlich besteht Knochengewebe aus von Osteoblasten produzierter Grundsubstanz, dem Osteoid, an die sich Hydroxylapatitkristalle anlagern, Kollagenfasern, den verschiedenen Knochenzellen, Gefäßen und Nervenfasern.

##### **4.2.2.1 Lamellenknochen**

Die Kompakta besteht beim ausgewachsenen Säugetier aus Lamellenknochen. Von außen nach innen folgen Periost, äußere Generallamelle, Osteone und Schaltlamellen, innere Grenzlamelle und Endost. Die Osteone sind einmalig in ihrem Aufbau. Um den zentralen Haverskanal, mit Blutgefäßen, liegen spiralg angeordnete Speziallamellen. In den Speziallamellen liegen die Kollagenfaserbündel hoch organisiert parallel vor.

Zwischen den Osteonen liegen die Osteozyten, deren dendritische Zellfortsätze das System der Osteone durchdringt. Die feinen Knochenkanälchen werden Canaliculi genannt. Diese bilden die Grundlage des lacuno-kanikulären Systems, in dem die Knochenflüssigkeit fließt (Bonewald und Johnson 2008). Die Osteozyten sind untereinander durch Nexus verbunden. Neben den parallel verlaufenden Haversgefäßen existieren noch senkrecht zu den Osteonen verlaufende Volkmanngefäße.

##### **4.2.2.2 Geflechtknochen**

Im Geflechtknochen liegen die Kollagenbündel scheinbar ungeordnet vor. Die Gesamtstruktur der Spongiosa richtet sich nach den Trajektionslinien aus. Somit ist auch der spongiöse Knochen stabil. Eine herausragende Bedeutung bildet die Spongiosa, indem sie Nischen für

Stammzellen bildet. Diese sind essentiell für die Hämatopoese, das Immunsystem und die mesenchymalen Stammzellen.

#### **4.2.2.3 Knochenentwicklung**

Es gibt die direkte (desmale) und die chondrale Ossifikation. Bei der direkten Ossifikation bilden sich die Osteoblasten direkt aus dem Mesenchym. Diese Form der Ossifikation tritt zum Beispiel bei den Schädelknochen auf. Die größere Bedeutung hat die chondrale Ossifikation. Hier entsteht aus Knorpel später Knochen. Aus noch nicht restlos geklärten Gründen fangen die Knorpelzellen an, sich in der Diaphyse zu teilen. Sie bilden Knorpelsäulen. Im nächsten Schritt reifen sie zu hypertrophen Chondrozyten heran mit einem großen Gehalt an Matrix degradierenden Enzymen. Die Chondrozyten degenerieren und werden von Chondroklasten abgebaut. Dies regt die Osteoblasten an, Osteoid auszusecheiden welches wiederum verkalkt und so die Grundlage für den Knochen bildet.

#### **4.2.3 Knochenstoffwechsel**

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in Veränderungen im Röntgenbild. Diese entstehen durch Veränderungen im Knochenstoffwechsel. Die Prozesse im physiologischen und später unter pathologischen Bedingungen sind daher sehr wichtig. Bereits 1892 stellte Julius Wolff (Wolff 1892) das nach Ihm benannte Wolff'sche Gesetz auf. Knochen der belastet wird, nimmt an Festigkeit zu. Knochen der entlastet wird, verliert an Festigkeit. Dieser gezielte Auf-, Ab- und Umbau unterliegt komplexen Steuerungsvorgängen.

Es ist dringend zwischen generalisierten Knochenabbauvorgängen und lokalen Veränderungen zu unterscheiden. Knochenumbau im Rahmen der Aufrechterhaltung der Calcium-Homöostase, Knochenstoffwechselstörungen, die zum Beispiel durch Leptine (Ducy, Amling et al. 2000) oder Sexualsteroiden (Riggs et al. 2002) verursacht werden, sind systemische Störungen. Die beteiligten Zellen sind vor allem die Osteoblasten, die Osteoklasten und Osteozyten. Diese werden als basic multicellular unit (BMU) bezeichnet.

Die folgenden Beschreibungen und Erkenntnisse sind durch Untersuchungen an Versuchstieren oder Zellkulturen entstanden. Sie sind daher nicht pferdespezifisch. Sie sind jedoch die einzige vertretbare Möglichkeit, die komplexen Zusammenhänge zu erforschen und in der Wissenschaft anerkannt (Thyssen et al. 2015).

Umgekehrt gilt das Pferd ein gut geeignetes Versuchstier zur Erforschung der Osteoarthritis und den histologischen Veränderungen im Knochen beim Menschen (McIlwraith et al. 2010).

#### **4.2.3.1 Osteoblasten**

Die Osteoblasten entstehen aus mesenchymalen Stammzellen, genauso wie die Fett-, Muskel- und Knorpelzellen (Pittenger et al. 1999, Harada und Rodan 2003). Diese pluripotenten Stammzellen bilden den Pool für Regenerationsvorgänge und physiologische Umbauvorgänge. Das Knochenmark ist ein wichtiges Reservoir für mesenchymale und hämatopoetische Stammzellen.

Durch Deletionismutanten konnten einige essentielle Gene entdeckt werden, die für die Entwicklung zum Osteoblasten entscheidend sind. Zu diesen gehören das RunX2 (runt-related transcription factor) Gen und OsX (Osterix) Gen (Ducy et al. 2000, Harada und Rodan 2003). RunX2 spielt auch eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung von hypertrophen Chondrozyten und somit auch der enchondralen Ossifikation (Takeda et al. 2001).

Die Osteoblasten bilden das Osteoid, welches die Grundmatrix für den mineralisierenden Knochen darstellt. Die Osteoblasten sind durch das „Coupling“ funktional sehr eng mit den Osteoklasten verbunden. Osteoblasten und ihre Vorläufer können in In-Vitro Versuchen durch Produktion von RANKL auch Osteoklasten aktivieren. Ob sie dazu auch In-Vivo in der Lage sind, ist umstritten und wurde im Versuch von Xiong (2011) widerlegt.

#### **4.2.3.2 Osteoklasten**

Osteoklasten sind knorpelgewebsspezifische mehrkernige Makrophagen (Boyle, Simonet et al. 2003). Sie entstehen aus hämatopoetischen Stammzellen (Suda, Takahashi et al. 1992). Um zu einem reifem Osteoklasten zu werden, ist der receptor activator of nuclear factor (NF)-Ligand (RANKL), der colony-stimulating factor-1 (CSF-1) und weitere Faktoren essentiell (Lacey et al. 1998, Nakagawa, Kinosaki et al. 1998, Zhang et al. 2014).

In einer Arbeit deutete die Expression von Acetylcholinrezeptoren in Osteoklastenvorläuferzellen auf eine parasympatische Beeinflussung hin (Bajayo et al. 2012).

Die Hauptaufgabe der Osteoklasten liegt im Abbau des Knorpelgewebes, um Beschädigungen zu beseitigen oder den Knochen an geänderte Belastungen anzupassen

(Cappariello et al. 2014, Charles und Aliprantis 2014). Die Funktion in der Calcium-Homöostase wird zurzeit in Frage gestellt (Teti und Zallone 2009).

Aufgrund Ihrer Herkunft aus der myeloiden Stammzellreihe sind Osteoklasten sehr eng mit dem Immunsystem verknüpft. So sind sie ebenso wie Immunzellen über viele Feedbacksysteme geregelt, um eine Über- oder Unterfunktion zu vermeiden (Jones et al. 2011, Guerrini und Takayanagi 2014). In Analogie zu Fremdkörperriesenzellen sind Osteoklasten erst aktiv, nachdem sich mehrere mononukleäre Osteoklasten zu einem multinukleären Osteoklasten verbunden haben.

Die Ähnlichkeit der Mechanismen zeigt sich in der Hypothese der „Fremdkörpertheorie“ (Del Fattore et al. 2008). Dabei wird Knochen, der nicht mehr von Osteoblasten oder Osteozyten, also auch beschädigter Knochen, bedeckt ist, als Fremdkörper erkannt und abgebaut.

Knochengewebe weist zwei Besonderheiten auf. Es ist einerseits viel zu groß, um komplett von Makrophagen umschlossen zu werden, und andererseits ist der zu einem Großteil aus Hydroxylapatit bestehende Knochen ein widerstandsfähiges Gewebe. Die Osteoklasten lösen dieses Problem durch Bildung von Howship Lakunen (Cappariello et al. 2014). Diese speziellen Kompartimente erlauben ein saures Milieu zum gezielten Abbau der organischen und anorganischen Knochensubstanz. Während des Abbaus produzieren die Osteoklasten Clastokine, die ihrerseits wiederum Osteoblasten aber auch Immunzellen anregen (Charles und Aliprantis 2014).

#### **4.2.3.3 Osteozyten**

Die historische Ansicht, dass Osteozyten passive im Knochen eingebettete Zellen sind, kann nicht mehr gehalten werden. Sie sind eher die Dirigenten im Zusammenspiel von Osteoklasten und Osteoblasten beim Prozess des „Bone-remodelling“ in Abhängigkeit von mechanischen und hormonellen Faktoren (Dallas et al. 2013).

Die Osteozyten besitzen die Fähigkeit, mineralischen Knochen aufzubauen und aufzulösen. Diese Fähigkeit spielt besonders bei der Calcium-Phosphor-Homöostase eine überragende Rolle (Qing et al. 2012). Die Osteozyten gelten als besonders effektive Osteoklastenaktivatoren, indem sie RANKL an ihrer Oberfläche exprimieren (Nakashima et al. 2011, Xiong et al. 2011, Honma, et al. 2013). Sie rekrutieren auch unter hypoxischen Bedingungen mesenchymale Stammzellen, die Vorläufer der Osteoblasten (Raheja, Genetos et

al. 2008). Sie regen ebenfalls die Differenzierung der Osteoblastenvorläufer, unter anderem NO vermittelt, an (Vezeridis, Semeins et al. 2006).

In ihrem Versuch zeigte Kogianni (2008), dass Zellüberreste von Osteozyten (so genannte apoptotic bodys), wie sie auch bei Mikrorissen auftreten, direkt Osteoklasten stimulieren. Osteocyten sind auch essentiell für die Mechanotransduktion. Mechanotransduktion ist der Vorgang, bei dem äußere mechanische Reize in zelluläre Signale umgewandelt werden. Sie besitzen auf ihrer Oberfläche Zilien, die den caniculären Flüssigkeitsstrom messen und in intrazelluläre Reaktionsketten umwandeln (Bonewald und Johnson 2008).

#### 4.2.3.4 Signalstoffe

Die Erklärung der verschiedenen Signalstoffe, die im Knochenstoffwechsel eine Rolle spielen, würde den Rahmen dieser Arbeit deutlich sprengen. Die Vielfalt zeigt jedoch, wie komplex die Vorgänge sind und dass einfache mechanistische Erklärungen scheitern müssen.

Als Beispiel wird hier das RANK/RANKL/OPG System erklärt. RANK steht für “Receptor Activator of nuclear factor kappa-light-chain-enhancer“(NF-kB). Somit ist RANK ein Rezeptorprotein auf der Hülle von Osteoklasten. RANKL ist der passende aktivierende Ligand. Als Enhancer kann NF-kB zur verstärkten Transkription führen. Er gilt als ein essentieller Bestandteil in der Osteoklastenreifung (Honma et al. 2013).

Tritt ein Schaden im Knochengefüge auf und wird dabei der Osteozyt geschädigt, reagiert dieser mit einer massiven RANKL/CSF-1 Ausschüttung (Kurata et al. 2006). Überreste von Osteozyten wirken ebenfalls stark Osteoklasten fördernd (Vezeridis et al. 2006).

Osteoprotegerin ist ein löslicher Rezeptorantagonist der den RANKL binden kann. Somit kann OPG die Aktivierung der Osteoklasten über RANK/RANKL verhindern. An Mausezellen konnten Udagawa et al. (2000) zeigen, dass Nullmutanten, die kein OPG bilden konnten, erhöhte Osteoklastenaktivität aufwiesen, welche mit Zugabe von OPG reduziert werden konnte. Auch ein neuerer Versuch an Ratten durch Sagar (2014) zeigte diese Wirkung. Eine weitere Wirkung des OPG-Analogons war ein reduziertes Schmerzverhalten.

Natürlicherweise treten OPG und RANKL nicht als lösliche Faktoren auf, die von den Zellen abgegeben werden. Das OPG/RANKL System spielt sich intrazellulär ab und steuert die

Expriemierung von RANKL an den dendritischen Fortsätzen der Osteocyten (Honma et al. 2013).

#### **4.2.3.5 Bone remodelling**

Um den Knochen an die Bedürfnisse des Organismus anzupassen, findet ein ständiger Auf-, Ab- und Umbau der Knochen statt (Wolff 1892). Dieser Vorgang wird Bone remodelling genannt. Er folgt immer folgendem Schema: Knochenabbau durch Osteoklasten mit anschließender Knochenmatrixproduktion durch Osteoblasten (Sims und Vrahnas 2014). Der Spezialfall, dass einer der beiden Prozesse überwiegt und es zu einem Umbau kommt, wird von einigen Autoren auch als Bone modelling bezeichnet.

Die aktivierten Osteoklasten setzen beim sauren Abbau Mediatoren frei. Diese Mediatoren aktivieren die Osteoblasten (Henriksen et al. 2011). Diese intensive Kopplung von Knochenabbau durch Osteoklasten und Knochenaufbau durch Osteoblasten nennt man Coupling.

Die Kopplungsfaktoren werden Clastokine genannt. Es gibt sehr viele verschiedene Typen und die genaue Gewichtung der einzelnen ist noch nicht restlos geklärt (Charles und Aliprantis 2014).

Die Hypothesen gehen dahin, dass in Analogie zum Immunsystem, der Knochenaufbau und Knochenabbau streng im Gleichgewicht stehen und durch verschiedenste Feedbacksysteme geregelt werden. So gibt es viele Möglichkeiten der Störung. So können Störungen in den Osteoklasten sowohl zu vermehrter Knochendichte (Pennypacker, Shea et al. 2009) als auch zu erniedrigter Knochendichte führen (Dai et al. 2004). In beiden Fällen führt dies, zu einer veränderten Mikroarchitektur und zu verminderter Stabilität.

Von besonderer Bedeutung sind auch direkte Zelle zu Zelle Kontakte zwischen Osteoblasten und Osteoklasten. So hemmt die direkte Interaktion von beiden Zellen die Osteoklastogenese und regt die Osteoblasten an (Matsuo und Otaki 2012). In diesem System bilden die Osteocyten die Kontrolleinheit (Sapir-Koren und Livshits 2014).

Durch den Ursprung der Osteoklasten aus dem Immunsystem können Zellmediatoren aus Immunzellen ebenfalls das Bone remodelling beeinflussen (Del Fattore et al. 2008).



### 4.3 Die Osteoarthritis

In ihrem aktuellen Übersichtsartikel schreibt Dyson (2011), dass die „Navicular disease“ viele Ähnlichkeiten mit einer Osteoarthritis aufweist. Diese Überlegung beruhen auf den Versuchen von Wright et al. (1998) und Pool et al. (1989). Besonders ausführlich beschreibt Hertsch und Maass (2009) den Zusammenhang von einer Hufglenksarthritis und der Podotrochlose. Selbst Oxspring (1935) bezeichnete bereits die „Navicular disease“ als Spezialform einer Osteoarthritis.

Ähnlich dem Kapitel über den Knochenstoffwechsel basieren aktuelle Forschungsmodelle zur Osteoarthritis auf Tierversuchen oder Zellkulturstudien.

#### 4.3.1 Morphologische Veränderungen

In der Humanmedizin besteht der Konsens, dass bei einer Osteoarthritis alle Bereiche des erkrankten Gelenkes betroffen sind (Findlay und Atkins 2014).

In Langzeitstudien am Menschen konnte gezeigt werden, dass es noch nicht möglich ist, zuverlässige Prognosen über den weiteren Verlauf eines Knorpelschadens zu stellen. Makro- und mikroskopisch ähnliche Läsionen können sich progredient verschlimmern oder auch gleich bleiben (Krenn und Rüther 2011).

Der modellartige Verlauf einer Osteoarthritis stellt sich wie folgt dar: Als erstes verliert der Knorpel seinen Glanz und verfärbt sich. Der Knorpel erweicht, und es können sich Risse bilden. Im subchondralen Knochen kommt es zu reaktiven Prozessen, wie Knochenumbau und Knochenmarksödem. In fortgeschrittenen Stadien liegt der subchondrale Knochen komplett frei, und es kann zu Einbrüchen kommen. Es entstehen Pseudozysten, die von einem Skleroserand umgeben sind (Krenn und Rüther 2011).

Beim Menschen stehen subchondrale Knochen- und Knorpelveränderungen im direkten Zusammenhang (Neogi et al. 2009). Das Endstadium eines osteoarthritisch veränderten Gelenks ist durch Knorpelschäden, eine chronische Synovialitis, subchondrale Knochenveränderungen und Bildung von Enthesiophyten gekennzeichnet (van der Kraan und van den Berg 2012).

### 4.3.2 Pathophysiologische Mechanismen

Der Verlust des Glanzes und der glatten Oberflächenstruktur des Knorpels ist auf den Abbau von Proteoglykanen in der Knorpelmatrix zurück zu führen. Eine Synovialitis ist auch ein typisches, aber nicht spezifisches Begleitsymptom einer Osteoarthritis (Sellam und Berenbaum 2010).

#### 4.3.2.1 Gelenkknorpelveränderungen

Hyaliner Knorpel ist an zwei bedeutenden Stellen zu finden. Einerseits als Gelenkknorpel, andererseits bildet er die Grundlage für die enchondrale Ossifikation. In diesem Prozess hypertrophieren die Chondrozyten und gehen in die Apoptose ein. Das ist die vollständige Proliferation eines Chondrozyten (Sinnowatz 2006).

Während ihres Unterganges scheiden sie Kollagen Typ 10 und Knorpelmatrix degradierende Enzyme wie MMP13 aus und verkalken, um die Ossifikation vorzubereiten. Gene für diese und weitere Enzyme dienen als Marker für die Hyperproliferation (Nurminskaya and Linsenmayer 1996). Die Matrix-Metalloproteinase 9 ist beim Pferd ein anerkannter Marker für Gelenkerkrankungen (Clegg 1999, Barnewitz 2015).

Die genetisch gleichen Chondrozyten bilden auch den Gelenkknorpel. Sie bleiben in einem gewissen Punkt ihrer Entwicklung stehen und erhalten die Integrität des Knorpels. Aus noch nicht geklärten Gründen treten diese Chondrozyten am Anfang der Osteoarthritis in eine weitere Proliferation ein (van der Kraan und van den Berg 2012). Aus Knorpelproben von osteoarthritisch veränderten Gelenken konnte eine erhöhte Expressierung der Gene für Kollagen Typ 10 (Aigner et al. 2006) und der MMP13 gefunden werden (Fukui et al. 2008).

TGF  $\beta$  ist einer der potentesten Blocker für die Entwicklung von hypertrophen Chondrozyten. Einige Chondrozyten verändern sich aus ungeklärten Gründen zum hypertrophen Typ. Ein Grund könnte der von (Priam et al. 2013) gefundene lösliche Faktor sein. Die hochregulierten Bereiche, wie die von MMP 13, Aggrecanase und vielen weiteren Enzymen, führt zur Zerstörung des Knorpels und zur Hypertrophie weiterer Chondrozyten. Dieser Prozess erhält sich selbst. Die Abbauprodukte des Knorpels führen zu einer Synovialitis. Dies führt zu einer Aktivierung von Immunzellen, die Entzündungsmediatoren freisetzen und die Entzündung verstärken. Besonders die Makrophagen und die freigesetzten Wachstumsfaktoren (wie TGF beta) sorgen für eine synoviale Fibrose, die zu Enthesiophytenbildung führen kann (van der

Kraan und van den Berg 2007). Am Ende stehen ein hochgradig geschädigter Gelenkknorpel, freigelegter Knochen, chronische Synovialitis und Enthesiophytenbildung (van der Kraan und van den Berg 2012).

#### **4.3.2.2 Subchondraler Knochen**

Im Zellkulturmodell konnten durch Kompression bearbeitete Osteocyten/Osteoblasten direkt Chondrozyten zu einem katabolen Stoffwechsel bringen. Dieser erhöhte die Expression von Genen für die katabolen Enzyme Metalloproteinasen 3 und 13 und verringerte die Expression der Gene für Typ 2 Kollagen und Aggrecan. Der identifizierte lösliche Faktor ist s14-3-3, und könnte eine entscheidende Rolle im Zusammenhang von Änderungen des subchondralen Knochens und des Knorpels spielen (Priam et al. 2013). Die besondere Bedeutung der Blutgefäße des subchondralen Knochens für den Knorpel stellt Imhof (2000) fest. So führen Veränderungen in der Durchblutung des subchondralen Knochens auch zwangsläufig zu einer veränderten Versorgung des Knorpels.

Die Veränderung der Perfusion im subchondralen Knochen konnte beim so genannten Knochenödem gezeigt werden (Aaron et al. 2007). Die veränderten Werte in der Sauerstoffspannung, der Belastung und der veränderten Flüssigkeitsströme im Knochen beeinflusst, wie oben beschrieben, die Osteozyten. Diese versuchen den Knochen an die geänderten Bedingungen anzupassen.

Kleine Moleküle können durchaus vom subchondralen Knochen in den Knorpel diffundieren (Pan, Zhou et al. 2009). Die Grenze zwischen Knochen, verkalktem Knorpel und Gelenkknorpel ist beim Menschen sehr komplex (Lyons, McClure et al. 2006). Einzelne Knorpelsäulen gingen bis zum Markraum des Knochens. Auch relativ große Moleküle können vom Blut in den Knorpel diffundieren (Zhang et al. 2010). Anhand des Insulin like Growth factors 1 (IGF1) zeigten sie, dass durch Nutzung von Bindungsproteinen ein effektiver Transport in den Knorpel stattfinden kann.

Die Frage, mit welchem genauen Prozess oder welcher Schädigung die Osteoarthritis beginnt, ist noch nicht restlos geklärt (Zhang et al. 2012, Findlay und Atkins 2014). Es ist jedoch klar, dass subchondraler Knochen, Gelenkknorpel und Gelenkkapsel eine funktionelle Einheit bilden und sich Veränderungen in einem Kompartiment auf die anderen auswirken können. Die Abbildung 4 zeigt den schematischen Verlauf einer Osteoarthritis.

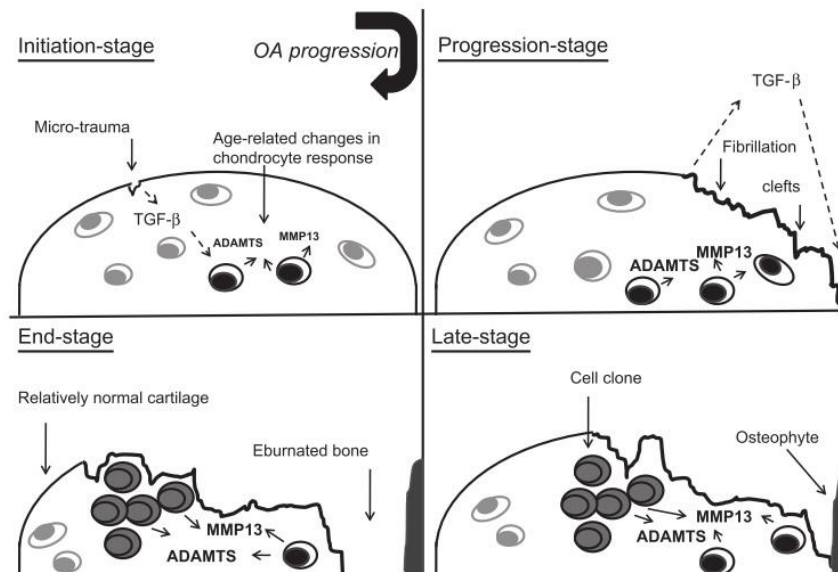


Abbildung 4: Schematischer Ablauf einer Osteoarthritis (van der Kraan and van den Berg 2012)

### 4.3.3 Osteoarthritis und Schmerz

Die oben beschriebenen Prozesse führen zu den bekannten morphologischen Veränderungen. Diese sind im Anfangsstadium nur im MRT zu sehen und später im Röntgenbild. Es ist jedoch noch nicht geklärt, wie diese Veränderungen zu Schmerzen führen können (Stone 2009).

Schmerz ist das wichtigste und am meisten störende Symptom der Osteoarthritis. Schmerzen führen sowohl beim Menschen als auch beim Pferd zur eingeschränkten Brauchbarkeit der betroffenen Gelenke. Dabei sind pathologische Veränderungen am Gelenk und Schmerzen nicht direkt proportional. Wie im Tierversuch an „Dunkin-Hartley“ Meerschweinchen gezeigt wurde (McDougall et al. 2009). Schmerzen sollen den Körper vor potenziell Gewebe schädigenden Einflüssen schützen. So sind Gelenkkapseln sensorisch innerviert, um Überbelastungen zu vermeiden (Hildebrand et al. 1991, Bowker et al. 1994). Die Aktivität der Osteoklasten spielt beim Entstehen von Schmerz eine entscheidende Rolle, und die Hemmung von Osteoklasten verhindert die Entstehung von Schmerzen (Strassle et al. 2010, Sagar, et al. 2014). Osteoklasten erzeugen beim Knochenabbau ein saures Mikromillieu. Nervenfasern können dieses durch „acid Sensing Chanels“ wahrnehmen (Mach et al. 2002, Nagae, et al. 2006). Osteoklasten werden auch durch Zellmediatoren wie IL-1 und TNF  $\alpha$  angeregt (Cappariello, et al. 2014).

Mit Schmerz assoziierte Mediatoren wie TNF  $\alpha$ , COX2 und Substanz P werden im subchondralen Knochen von osteoarthritisch veränderten Gelenken regelmäßig gefunden

(Ogino et al. 2009). Die Veränderungen am Knorpel führen zu geänderten Perfusionsverhältnissen im subchondralen Knochen (Aaron et al. 2007). Auf die veränderten Perfusionsverhältnisse reagieren die Osteozyten besonders empfindlich. Für sie ist verminderte Sauerstoffspannung das Signal, um den Knochenabbau einzuleiten (Hinoi et al. 2012).

Neben den Veränderungen im subchondralen Knochen spielen auch die Veränderungen in der Synovia und die Sinovialitis eine entscheidende Rolle bei der Schmerzentstehung. In der Synovia von veränderten Gelenken können erhöhte Konzentrationen von NO, Prostaglandin E, Cytokinen und verschiedenen Neuropeptiden gefunden werden (Sellam und Berenbaum 2010). Diese können zur Schmerzentstehung beitragen. Der dadurch erhöhte Gelenkdruck reizt zusätzlich und ist beim Pferd im Hufgelenk als Schmerzindikator anerkannt (Schött 1989, Hertsch und Höppner 1999).

Künstlich ausgelöste OA führt zu Veränderungen in der Aktivität im Rückenmark und zu Schmerzen. Diese erhöhte Aktivität der Mikroglia im Rückenmark führt zur Allodynie (Sagar et al. 2011). Diese Veränderung ist bei der Chronizität besondere Beachtung zu schenken.

## **4.4 Podotrochlose**

### **4.4.1 Definition**

Die Erkrankung der Hufrolle ist seit der Domestikation des Pferdes bekannt. Im deutschsprachigen Raum versteht man darunter: „Die Podotrochlose (eine chronische, aseptische Hufrollenerkrankung) ist eine chronische, degenerative und progressive Erkrankung der Hufrolle, die alle drei Bestandteile der Hufrolle also Strahlbein, Beugesehne und Schleimbeutel (Bursa podotrochlearis) betreffen kann“ (Dietz und Huskamp 2005).

Eine direkte Übersetzung in das Englische existiert nicht. Im Englischen ist der Begriff „Navicular disease“ geläufig. Dabei ist die „Navicular disease“ eine chronische Vorhandlahmheit, bei der Schmerzen durch Schäden am Strahlbein und seinen benachbarten Strukturen wie den Sesambeinhaltebändern, dem Strahlbeinhufbeinband, dem Hufrollenschleimbeutel und der tiefen Beugesehne verursacht werden. Dabei wird direkt drauf hingewiesen, dass verschiedene Krankheitskomplexe die unterschiedlichen klinischen Manifestationen hervorrufen können (Ross und Dyson 2011).

Die „Navicular disease“ ist keine Krankheit einer definierten Struktur. Die anatomische Nähe und funktionellen Beziehungen von Strahlbein, kollateralen Sesambeinbändern, unpaarem distalen Sesambeinband, TBS, Strahlbeinschleimbeutel und Hufgelenk bedingen das Auftreten von verschiedensten Krankheitskomplexen (Dyson et al. 2011). Dabei wird aber noch einmal betont, dass primäre Schäden an der TBS nicht zu diesem Krankheitskomplex gehören (Dyson 2015). Dort wird die „Navicular disease“ und die Verletzungen des Hufrollenapparates in Zusammenhang gestellt.

Es existiert noch der Begriff des „Equine palmar foot syndrome“. Dieser Begriff betont, dass einige Krankheiten im palmaren Hufbereich existieren, die nicht direkt mit dem Strahlbein zusammen hängen und somit nicht als „Navicular disease“ bezeichnet werden dürften. Im Endeffekt zählen zu diesem Krankheitsbild alle Erkrankungen, die Schmerzen im palmaren Hufbereich auslösen und durch eine TPA verbessert werden. Zum „Equine palmar foot syndrome“ gehören demzufolge: Veränderungen an den Knochen, wie Strahlbein, Hufbein und Kronbein, aber auch Veränderungen an den Weichteilen wie Entzündungen der tiefen Beugesehne und der Sesambeinbänder und Synovialitis des Hufgelenkes und der Bursa podotrochlearis. Dabei wird auch hier betont, dass viele dieser Veränderungen zusammen auftreten (Rijkenhuizen 2006). Besonders der Einsatz der MRT-Technik führte in diesem Gebiet zu nachhaltigen Veränderungen. So wurden die Verletzungen der seitlichen Bänder des Hufgelenkes und Schäden, die primär an distalen Teilen der TBS beginnen, als Ursachen für die früher beobachteten Pferde mit „Navicular disease“ ohne radiologische Veränderungen gesehen (Robinson 2008). Da diese Anteile der TBS in der deutschen Definition der Hufrolle enthalten sind und durch den Fakt, dass viele Pferde mehrere Läsionen aufweisen, kann man Erkrankungen der TBS im Insertionsabschnitt der Podotrochlose zuordnen.

Als eine gute Eingrenzung beschreibt (Rose 1996) vier Punkte, die bei einer „Navicular disease“ erfüllt werden sollten;

1. eine chronische, zunehmende ein- oder beidseitige Vorderhandlahmheit,
2. Ausschluss von anderen Hufkrankheiten (wie Hufrehe oder aseptische Huflederhautentzündung)
3. deutliche Besserung durch eine tiefe Palmarnervenanästhesie und
4. radiologische Veränderungen im Strahlbein.

Dabei ist zu betonen, dass Veränderungen teilweise nur im MRT zu erkennen sind.

Da die deutsche Bezeichnung Podotrochlose sprachlich gesehen eine sehr präzise Bezeichnung ist, wird diese im weiteren Verlauf verwendet. Sie beinhaltet den anatomischen Bereich der Hufrolle also Strahlbein, TBS, Schleimbeutel und deren umgebende Strukturen. Mit der Endung –ose wird der chronische Verlauf und die nicht genau zu klärende Ätiologie verdeutlicht.

Es gibt viele Theorien und Modelle zur Entstehung der Krankheit. Eine Podotrochlose konnte bisher noch nicht experimentell ausgelöst werden (Dyson et al. 2011). Es gab verschiedene ätiologische Modelle wie die Ischämietheorie von (Colles und Hickman 1977) oder die Arteriosklerosetheorie (Rijkenhuizen et al. 1989). Ein sehr vielversprechendes Modell ist die Auffassung der ND als Sonderform einer OA des Hufgelenkes (Hertsch und Maass 2009).

#### **4.4.2 Makroskopische Veränderungen**

Das unveränderte Strahlbein weist eine dichte Kompakta an der Facies articularis und flexoria auf (Geyer und Löschmann 2007). Dazwischen befindet sich eine feine gleichmäßige trabekuläre Knochenstruktur.

An Strahlbeinen von Pferden mit diagnostizierter Podotrochlose sind die auffälligsten und teilweise schon makroskopisch sichtbaren osteolytischen Bereiche und vergrößerte und in der Form veränderte Canales sesamoidales sichtbar. Weiterhin zeigt sich eine verringerte volumetrische Knochendichte in der Corticalis (Bentley et al. 2007). Das Mark kann neben osteolytischen Bereichen auch Bereiche mit deutlichen Sklerosierungen enthalten. Knochenneubildungen an den Rändern des Strahlbeins und auch auf der Facies flexoria sind ebenfalls zu finden (Dyson 2011).

Durch die Umbauvorgänge erhöhten sich die Gesamtdicke (proximo-distal) und die Höhe der Facies flexoria/articularis (Komosa et al. 2013). Der Faserknorpel auf der Facies flexoria ist verändert. Die Veränderungen reichen von diffuser Verdünnung, Verfärbung, fokalen Erosionen bis zum vollständigen Verlust vom Knorpel. Im Extremfall bricht die Corticalis ein.

An der tiefen Beugesehne sind ähnliche Befunde zu beobachten. Die Sehne kann ebenfalls farblich verändert, aufgefasert, mit dem Strahlbein verklebt und verwachsen sein (Dyson et al. 2006). Enthesiophyten am Strahlbein sind ebenfalls ein häufiger Befund (Dyson 2011).

#### 4.4.3 Histologische Veränderungen

Photochemische Untersuchungen von Viitanen, Bird et al. (2003) zeigten eine Veränderung des Aufbaues und Zusammensetzung des Faserknorpels des Strahlbeines. In Ihren Untersuchungen konnten sie jedoch auch feststellen, dass Pferde mit diagnostizierter Podotrochlose keine Knorpelveränderungen und Pferde aus der „gesunden Gruppe“ Knorpelveränderungen aufwiesen. In dieser Studie zählten als „Podotrochlose Gruppe“ alle Pferde mit einer klinischen Diagnose, besonders auf dem positiven Ausfall der Palmarnervenanästhesie basierend. So könnten auch durchaus Pferde mit anderen Problemen des „Equine palmar foot syndrome“ (Rijkenhuizen 2006) in diese Gruppe gelangt sein.

Klinisch gesunde und radiologisch als durchschnittlich (2/5) eingeteilte, zeigten histologische Veränderungen (Komosa et al. 2014). Folgende histologische Veränderungen ohne makroskopische Veränderungen traten auf: Verdünnung des Faserknorpels, Veränderung des subchondralen Knochens, die Auffaserung der tiefen Beugesehne und Einlagerung von Knorpelzellen in die TBS. Eine verringerte Dichte an Osteonen und eine Verkalkung von Osteonen waren auch besonders auffällig (Bentley et al. 2007).

Histologische Veränderungen im Knorpel auf der Facies flexoria, Veränderungen an den proximalen und distalen Grenzen, im Mark des OSN, im distalen Strahlbeinband und an dem Synovium der Bursa sind signifikant häufiger und ausgeprägter bei Pferden mit palmarer Fußschmerzen. Die Veränderungen am Knorpel der Facies flexoria reichten von lokalen Verdünnungen bis hin zum vollständigen Verlust des Knorpels und Veränderungen am subchondralen Knochen. Veränderungen an den CSL, dorsalen Aspekten des Strahlbeins und Knorpelveränderungen am Hufgelenk (an der Artikulationsfläche zum OSN) unterscheiden sich nicht zwischen den Gruppen. Veränderungen im subchondralen Knochen der Facies flexoria wie Osteonekrose waren immer dorsal von Knorpeldefekten. Die Veränderungen sind auch nicht altersabhängig (Blunden et al. 2006). Die gleichen Ergebnisse gelten auch für Veränderungen auf der Dorsalfläche der tiefen Beugesehne, die signifikant häufig mit Veränderungen an dem OSN korrelieren (Blunden et al. 2006).

#### 4.4.4 Ätiologie der Podotrochlose

Die Ätiologie der Podotrochlose ist bisher noch nicht vollständig geklärt. Es konnte noch mit keinem Experiment bei einem gesunden Pferd eine Podotrochlose ausgelöst werden (Dyson et



al. 2011). Da es sich bei der Podotrochlose um eine multifaktorielle Erkrankung handelt, wird dies auch nur sehr schwer gelingen.

#### **4.4.4.1 Genetische Disposition**

Die Podotrochlose gilt als „Berufskrankheit des Reitpferdes“ und tritt größtenteils bei gerittenen Warmblütern auf. Sie tritt kaum bei Ponys und Arabern auf. Es besteht eine familiäre Häufung (Dietz und Huskamp 2005). Warmblüter, englische Vollblüter und Quarter Horses haben eine wesentlich höhere Inzidenz als Araber und Friesen (Ross und Dyson 2011). Erste Hinweise zu einer Vererblichkeit der Podotrochlose sind lange bekannt (Bos et al. 1986). Die Untersuchung von jungen holländischen Warmblütern unter 11 Monaten legt eine Vererblichkeit vom radiologischen Aussehen des Strahlbeins nahe (Dik et al. 2001). Im Genom der Hannoveraner konnten Bereiche gefunden werden, die direkt mit radiologischen Veränderungen an der Hufrolle zusammenhängen (Diesterbeck und Distl 2007).

#### **4.4.4.2 Biomechanische Komponenten**

Der Umstand dass besonders Warmblüter, Vollblüter und Quarter Horses betroffen sind, könnte der spezifischen Nutzung dieser Rassen geschuldet sein. So betonen Dietz and Huskamp (2005), dass besonders Turnierpferde betroffen sind. Besonders die zu frühe Nutzung von „jungen, nicht belastungsreifen Pferden im Leistungssport (kann) zu Abnutzungserscheinungen an der Hufrolle führen“ (Dietz und Huskamp 2005). Es wird ebenfalls betont, dass Stellungsfehler der Gliedmaßen und ungenügende Hufbereitung zur Entwicklung der Podotrochlose beitragen können.

Die Annahme, dass eine gewisse Hufform typisch für die Entstehung von der Hufrollenerkrankung ist, ist unwahrscheinlich. So haben Quarter Horses meist steile und, auf die Körpergröße bezogen, sehr kleine Hufe. Warmblüter besitzen eher große Hufe und Vollblüter sehr flache Hufe (Ross und Dyson 2011). Die Hufform hat einen Einfluss auf die biomechanischen Belastungen der verschiedenen Strukturen. So belastet eine latero-mediale Imbalance des Hufes eine Seite verstärkt (Chateau et al. 2002). Es zeigte sich, dass besonders die Propulsionsphase die stärkste Belastung der Hufrolle verursacht (Denoix 1999). Wilson et al. (2001) zeigten, dass es deutliche Unterschiede bei der Belastung des Hufes zwischen gesunden und an Podotrochlose erkrankten Pferde gibt. Die Maximalkraft war bei beiden Gruppen gleich. Jedoch war der Gesamtstress und die Gesamtkraft nahezu doppelt so hoch

bei den Erkrankten. Dies wird durch eine starke Anspannung des tiefen Zehenbeugers verursacht. Dadurch soll die Trachte während des Auf Fußens entlastet werden. Dieses Anspannungsmuster würde die gelegentlich beobachtete Zehenspitzenfußung erklären (Ross und Dyson 2011). Diese Ergebnisse wurden dadurch bestätigt, dass sich das veränderte Belastungsmuster durch eine TPA ändern ließ. Die Pferde fußten nach einer TPA wieder wie die Vergleichsgruppe (McGuigan und Wilson 2001). Es ist jedoch zu beachten, dass diese Änderungen bei bereits erkrankten Tieren festgestellt wurden. Es ist daher nicht möglich zu klären, ob sie die Ursache oder nur die Folge der Erkrankung darstellen. Die veränderten Belastungsmuster, besonders der starke Zug der TBS mit dem daraus resultierenden Druck auf das Strahlbein, führen zu einer Ausbildung der typischen klinischen Symptome.

Die Rolle der Biomechanik spielt jedoch bei der Therapie eine außerordentliche Rolle. So besteht Übereinkunft, dass der Zug der TBS entlastet und ein Abrollen der Gliedmaße erleichtert werden muss. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten wie das Eiereisen (Dietz und Huskamp 2005, Ross und Dyson 2011, Dyson et al. 2013), Eisen mit Einlagen und verlängerten Schenkeln (Denoix 1999, Dietz und Huskamp 2005) und viele andere Kombinationen.

#### **4.4.4.3 Ischämietheorie**

Als eine Theorie zur Entstehung der Podotrochlose gilt ein verändertes Durchblutungsmuster mit Arteriosklerose und Thrombenbildung (Dietz und Huskamp 2005, Waguespack 2010). Unbestritten ist, dass sich im Verlauf der Podotrochlose die Gefäßmuster verändern (Hertsch und Dammer 1987, KhairElseed 2006, Hertsch und Maass 2009). Auf dieser Überlegung beruhen teilweise erfolgreiche Therapien, die die periphere Durchblutung bzw. die Sauerstoffversorgung erhöhen (Dietz et al. 1987).

Wie bei den veränderten Bewegungsmustern, die im Verlaufe der Podotrochlose entstehen, spielt die Veränderung der Durchblutung der Hufrolle eine Rolle in der Entstehung und vor allem im Fortschreiten der Erkrankung. Des Weiteren spielt nach dem heutigen Verständnis die veränderte Durchblutung des subchondralen Knochens eine wesentliche Rolle im Komplex der OA (Aaron et al. 2007). So ist die Diskussion von einzelnen Theorien, wie in den Übersichtsartikeln von Dyson et al. (2011) und (Waguespack 2010) geschehen, nicht zielführend. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die komplexen Veränderungen sowohl der

Biomechanik als auch der Perfusion in Kombination mit anderen Faktoren zum Entstehen und Fortgang der Podotrochlose beitragen.

#### **4.4.4.4 Aseptische Podarthritis und Podotrochlose**

Viele Autoren verweisen auf die Ähnlichkeiten der Podotrochlose mit der OA und sehen in ihr ein plausibles Modell für die Entstehung der Podotrochlose (Viitanen, et al. 2003, Hertsch und Maass 2009, Waguespack 2010, Dyson et al. 2011).

Leichte und wiederholte Traumen am Hufgelenk führen zu einer Synovialitis nach dem oben beschriebenen Modell der OA (Hertsch und Maass 2009). Es kommt zu einem Anstieg der Konzentration von Gefäßmediatoren in der Synovia, wie Histamin, Bradykinin und Prostaglandin E. Dies erhöht die Gefäßpermeabilität. Durch die Entzündungskaskade freigesetzte Metalloproteoglykanasen (Viitanen et al. 2001) stören die Integrität der Knorpelmatrix. Im Knorpel des Strahlbeins und der TBS von an Podotrochlose erkrankten Pferden konnten die verschiedenen Entzündungsmarker in erhöhter Konzentration gefunden werden (Viitanen et al. 2003).

Einwandernde Makrophagen degradieren durch ihre lysosomalen Enzyme die hochmolekularen Hyaluronsäuremoleküle. Dadurch wird die Viskosität der Synovia erniedrigt. Durch diesen Punkt und die veränderte Gefäßpermeabilität können nun kleine osmotisch wirksame Moleküle in die Synovia einströmen. Dadurch erhöht sich der intraartikuläre Druck im Hufgelenk (Schött 1989, Zuther und Hertsch 2004). Die hypertrophen Chondrozyten können ebenfalls degradierende Enzyme abgeben und den Prozess der Knorpeldegeneration aufrechterhalten (van der Kraan und van den Berg 2012).

Durch die anatomische Lage des Hufgelenkes in der Hufkapsel ist ein Ausdehnen des Hufgelenkraumes nur sehr eingeschränkt möglich. Verschärfend kommt hinzu, dass die Elastizität der Gelenkkapsel, die ein wesentlicher Teil der Druckregulation des gesunden Gelenkes ist, abnimmt (Hertsch und Maass 2009). Der intraartikuläre Druckanstieg tamponiert die Blutzirkulation. Dies reduziert den Blutfluss der synovialen Einrichtungen. Der erhöhte Druck tamponiert auch umliegende Venen, besonders die Venen für das Strahlbein im Strahlbein-Hufbeinband. Der intraossäre Druck ist sehr fein über den arteriellen Zufluss, die Nettofiltrationsrate, die Lymphdrainage und den venösen Abfluss geregelt. Beim

Hund konnte direkt der Zusammenhang zwischen erhöhtem Gelenkdruck, venösem Rückstau und Erhöhung des intraossären Druck, belegt werden (Hansen et al. 1991).

Durch den gestörten venösen Abfluss steigt der intraossäre Druck im Strahlbein an (Pleasant et al. 1993). Der erhöhte intraossäre Druck und die venöse Stase führen zu einer Hypoxie im Knochen (Aaron et al. 2007). Abbildung 5 zeigt die daraus resultierenden Gefäß- und Knochenveränderungen. Osteozyten reagieren sehr empfindlich auf Hypoxie. So können sie als Mechanorezeptoren dienen (Dodd et al. 1999). Die intrakanikulären Flüssigkeitsströme, die Scherkräfte auf die Fortsätze der Osteozyten bewirken (Sapir-Koren und Livshits 2014), können auch beeinträchtigt sein.

Wird ein Knochen nicht belastet, sinkt die Versorgung durch Diffusion der Osteozyten. Die Osteozyten geben unter Hypoxie den growth differentiation factor 15 ab. Dieser regt Osteoklasten an (Hinoi et al. 2012). Es kommt zu einem erhöhten „Bone turnover“. Diese Veränderungen sind im Magnetresonanzbild auch als „bone edema“ sichtbar (Jenner und Kirker-Head 2011, Patel 2014).

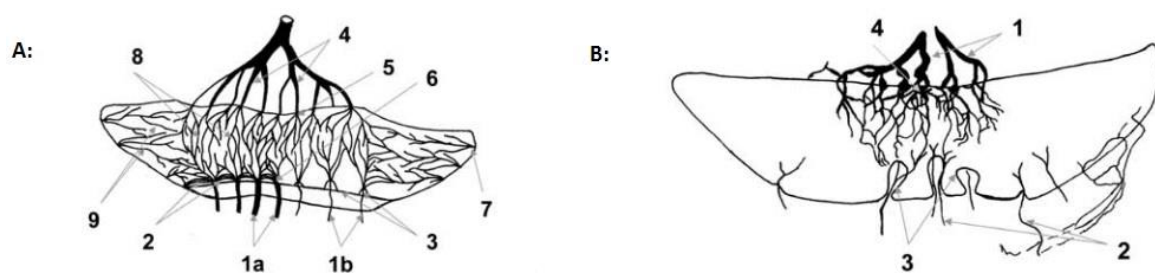
Die über eine Gelenkaussackung mit dem Hufgelenk in Verbindung stehenden Gefäßkanäle des Strahlbeines führen in dem geänderten Milieu zur Ausdehnung der Gefäßkanäle. Die Gefäßkanäle werden dadurch größer und können ihre Form von konisch zu „Lollipop“-Form ändern. Die Umbauprozesse führen zu einer gestörten Integrität des Knochens. Änderungen im subchondralen Knochen führen zwangsläufig zur Störung des Knorpels. In Extremfällen kann der subchondrale Knochen unter der Sehnengleitfläche einbrechen (Hertsch und Maass 2009).

Hufgelenk und Bursa podotrochlearis sind anatomisch nicht miteinander verbunden. Es können jedoch Moleküle von einem in das andere Kompartiment diffundieren (Viitanen et al. 2001, Manfredi et al. 2012). Dieser Umstand wird bei therapeutischen und diagnostischen Verfahren ausgenutzt. Er kann jedoch auch dazu führen, dass die oben erwähnten Entzündungsmediatoren aus dem Hufgelenk übertreten. Die veränderten Gefäßkanäle, die Veränderung der Knochendichte, die Veränderung der Kortikalis, neue Knochenformationen und Zysten ähnliche Läsionen werden im fortgeschrittenen Stadium röntgenologisch sichtbar (Dyson 2011).

Wie oben bereits angedeutet, ist der Zusammenhang von morphologischen Veränderungen und dem Entstehen von Schmerz nicht trivial. So sind unbedingt altersabhängige

morphologische Änderungen von pathologischen Prozessen zu unterscheiden, die mit Schmerzen verbunden sind (Wright et al. 1998). Bereits früh wurde erkannt, dass eine Änderung im subchondralen Knochen ein Schlüsselereignis ist (Doige und Hoffer 1983). Ob die oben beschriebenen Modelle der Schmerzentstehung auch für die Podotrochlose gelten, ist noch zu klären.

Eine andere Alternative wären Veränderungen im DSIL, die häufig bei erkrankten Pferden auftreten (Blunden et al. 2006). Diese Struktur ist sehr reich innerviert und könnte für die Schmerzentstehung eine entscheidende Rolle spielen (Van Wulven und Bowker 2002).



**Abbildung 5: Schematische Darstellung vom venösen Gefäßsystem aus (Hertsch und Maass 2009)** A – linke Seite physiologische Gefäßverteilung, rechte Seite ggr. Veränderungen B – Gefäßverteilung von hgr. Veränderten Strahlbeinen (Hertsch and Maass 2009); 1a – unveränderte distale Venen des Strahlbeins; 1b – verengte distale Venen des Strahlbeins; 2 – mediolaterale venöse Sinusoide; 3 – Canales sesamoidales; 4 – proximale Venen des Strahlbeins; 5 – proximaler Zusammenfluss der venösen Sinusoide; 6 – distaler Zusammenfluss der venösen Sinusoide; 7 – medialer/ lateraler Zusammenfluss der venösen Sinusoide; 8 – proximo-distale venöse Sinusoide; 9 – diagonale venöse Sinusoide

#### 4.5 Röntgentechnik

Neuere Entwicklungen in der bildgebenden Diagnostik wie Magnetresonanz- und Computertomografie sind in der Spezifität und der Sensitivität der klassischen Röntgenuntersuchung, besonders bei der Befundung von sehr frühen Läsionen, deutlich überlegen (Murray et al. 2006, Dyson et al. 2011, Dyson et al. 2012). Es ist zu beachten, dass ein Pferd an „navicular disease“ ohne jegliche röntgenologische Veränderungen leiden kann (Sampson et al. 2009, Dyson et al. 2011).

Jedoch sind diese Untersuchungsmethoden auch deutlich aufwendiger und teurer als die Röntgenuntersuchung und somit in absehbarer Zeit für routinemäßige Ankaufsuntersuchungen keine Alternative. Insbesondere müssen beim Hochfeld-MRT und

dem CT die Pferde in Vollnarkose gelegt werden. Die anschließende Aufstehphase stellt beim Pferd immer noch ein Risiko dar (Czupalla und Gerhards 2013). Deswegen wird die Röntgenuntersuchung auf absehbarer Zeit die Standarduntersuchung in der Pferdepraxis bleiben. Die folgenden Erklärungen beziehen sich, soweit nicht anders gekennzeichnet, auf Benz (2006) und Becht (2008).

#### **4.5.1 Röntgenstrahlung**

Die in der heutigen Pferdepraxis eingesetzten Röntgenröhren arbeiten mit Lichtstrom oder sind mit Akkumulatoren ausgestattet. Dies ermöglicht ein komfortables Arbeiten, auch im Stallbereich. Dabei hat sich seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen 1895 das Funktionsprinzip der Röntgenröhren nicht geändert. Eine Glühwendel wird soweit erhitzt, dass Elektronen aus ihren Orbitalen gelenkt werden. Diese Glühwendel ist gleichzeitig die Kathode eines Hochspannungssystems. Hier wird die Beschleunigungsspannung angelegt, gemessen in kiloVolt (kV). Diese Spannung erzeugt ein elektrisches Feld und beschleunigt die ausgetretenen Elektronen. Diese treffen auf die Anode und verdrängen dort einerseits Elektronen der inneren Schalen, wodurch die diskreten Röntgenstrahlen entstehen, andererseits erzeugen die beschleunigten Elektronen beim Durchlaufen der Anode die Bremsstrahlung. Die Energie der auftretenden Elektronen wird zu 99% in Wärme und nur zu 1% in Röntgenstrahlen umgewandelt. Diese Bremsstrahlung wird beim Röntgen genutzt.

Die Qualität der Röntgenstrahlen wird durch zwei bzw. drei Parameter ausgedrückt. Die angelegte Röntgenspannung erzeugt die „Härte“ der Strahlung. Mit wenig Spannung erzeugt man Röntgenstrahlung mit schlechtem Durchdringungsvermögen, die von Weichteilgewebe absorbiert wird. So können geringe Dichteunterschiede in Weichteilen dargestellt werden. Diese Strahlen sind jedoch nicht für die Beurteilung von Knochen geeignet. Knochengewebe würde diese Strahlen komplett absorbieren und so keine Unterschiede darstellen. Die weiteren Werte sind die Belichtungszeit in Millisekunden und die Stromstärke. Sie werden multipliziert und als mAs-Produkt angegeben. Sie stellt ein Maß für die Strahlenenergie da.

Die üblichen in der Pferdepraxis verwendeten Strahler haben eine feste Stromstärke und die Belichtungszeit kann eingestellt werden (GIERTH 2014). Lange Belichtungszeiten können zu Bewegungsartefakten führen. Röntgenstrahlen breiten sich vom Generator strahlenförmig aus. Aus diesem Grund stellen sich Strahler nahe Objekte immer etwas größer dar.

Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen. Für sie gelten die Gesetze der Strahlenphysik. Röntgenstrahlen können an Objekten ohne Energieverlust gestreut werden. Diese elastische oder Rayleigh Streuung ist besonders für den Strahlenschutz zu beachten. Sie sind auch als störender Einfluss auf die Bildqualität von Bedeutung. Für die Bildentstehung werden inelastische Prozesse genutzt. Dabei ist der Comptoneffekt der wichtigste in der Medizin. Das eintreffende hochenergetische Photon stößt auf ein Elektron und überträgt auf dieses Energie. Das Photon verliert durch diesen Stoß Energie, also ändern sich auch die Wellenlänge und die Richtung. Quantitativ wird dieser Zusammenhang im Lambert-Berschen-Gesetz dargestellt. Die Adsorption von Strahlung ist abhängig von der Dicke, der Dichte, der Ordnungszahl des zu durchstrahlenden Materials und von der Wellenlänge des Primärstrahles.

#### **4.5.2 Röntgendetektoren**

Es muss zwischen drei Systemen der Röntgendetektion unterschieden werden. Die analogen Röntgenfilme, die Speicherfoliensysteme (CR) und die Direktradiographiesysteme (DR). Dabei bieten die digitalen Systeme viele Vorteile und werden sich in Zukunft durchsetzen (NAR 2011).

Aktuell sind beide digitalen Systeme in der Pferdepraxis im Gebrauch. Langfristig bieten die DR-Systeme jedoch viele Vorteile (Kotter und Langer 2002, Cowen et al. 2008) Da in dieser Arbeit mit einem DR-System gearbeitet wird, soll nur dieses weiter besprochen werden.

##### **4.5.2.1 Bildentstehung**

Bei den DR-Systemen werden die Röntgenstrahlen entweder direkt über eine amorphe Selenmatrix und ein Dünnfeldtransistor in eine Spannung überführt. Die zweite Möglichkeit besteht über einen Zwischenschritt. Dabei wandelt ein Szintillator die Röntgenstrahlen in Lichtsignale um. Als Szintillatoren werden meist Caesiumchlorid oder seltene Erden verwendet. Diese Lichtblitze werden über einen CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) Chip oder CCD (charge-coupled device) Sensor erfasst und in elektrischen Strom umgewandelt (Carlto 2012).

Diese Ströme werden dann nach Ort und Stärke dimensioniert abgeleitet. Dabei ist die räumliche Auflösung direkt vom Aufbau des Detektors abhängig. Die Größe eines jeden einzelnen Bildpunktes (englisch: picture element oder pixel) wird als Detektorelementgröße (oder Pixel array) bezeichnet. Er liegt für gewöhnlich zwischen 100 und 200  $\mu\text{m}$ . Er setzt sich

aus der Größe eines jeden Schaltkreises und dem Abstand der einzelnen Schaltkreise zusammen. Je kleiner ein Bildpunkt ist, desto größer ist die Auflösung. Aktuell gebräuchliche Röntgendetektoren erreichen Auflösungen von theoretisch 2,5 bis 3,6 Linienpaaren pro Millimeter. Dabei gibt diese Einheit an wie viele schwarz-weiße Linien pro Millimeter unter einem Mikroskop noch voneinander unterschieden werden können. Diese Einheit ist für analoge Systeme geschaffen worden und nicht direkt übertragbar.

Analoge Filmkombinationen (bis zu 20 LP/mm) und Speicherfoliensysteme (bis zu 10 LP/mm) erreichen höhere absolute Auflösungen. Das hat auf die Befundung jedoch keinen Einfluss. In Blindversuchen und klinischen Studien in der Humanmedizin konnten bessere Ergebnisse mit den Detektorplatten erzielt werden. Es waren andere Bildqualitätsparameter besser (Kotter und Langer 2002).

#### **4.5.2.2 Qualitätsparameter**

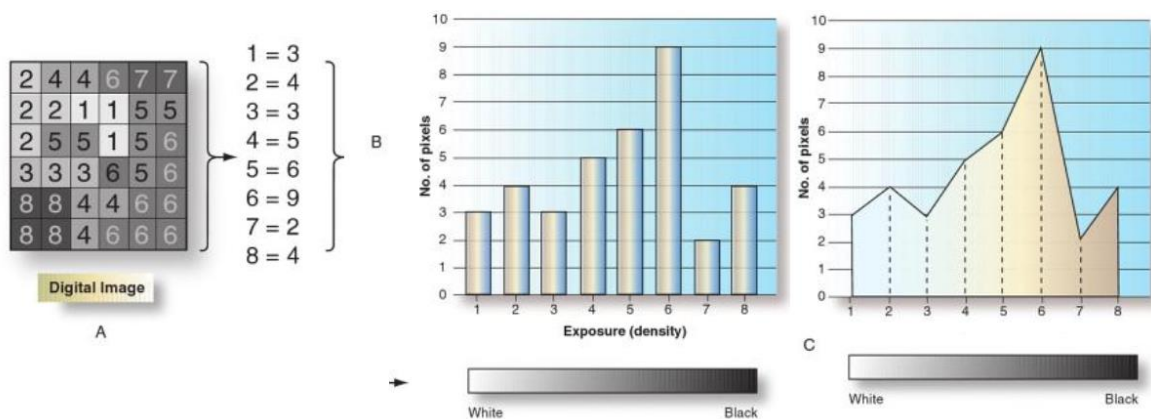
Ein wichtiges Qualitätsmerkmal ist die Auflösung. Die Auflösung beschreibt die Bildelementanzahl und wird in Pixel angegeben. Dabei ist jeder Pixel ein Bildpunkt. Ein zweidimensionales Bild besteht dann zum Beispiel aus  $200(\text{Breite}) \times 200(\text{Höhe}) \text{ Pixel} = 40000 \text{ Pixel}$ . Die absolute Anzahl an Pixel ist nicht entscheidend. Ähnlich der Einheit Linienpaare pro Millimeter gibt es für digitale Systeme die Größe Pixel pro Zoll (pixel per inch oder ppi). Es ist auch möglich, die absolute Größe eines Pixels anzugeben und die absolute Anzahl. Je kleiner der Pixel ist, desto größer wird die räumliche Auflösung. Die Zuordnung einzelner Pixel ist die Rasterung.

Computer sind auf ihren binären Code angewiesen. Er besteht nur aus 0 (kein Strom) und 1 (Strom). Diese Bildtiefe von einem Bit würde einem schwarz-weißen Bild entsprechen. Durch Differenzierung der Bildtiefe auf zum Beispiel 16 Bit entstehen Graustufen. Diese Graustufen entstehen durch eine Quantifizierung der aufgenommenen Strahlung. Diese Graustufen sind dabei nicht fest eingestellt, wie bei konventionellen Filmen. Jeder Strahlungsintensität kann die Software einen bestimmten Grauton zuordnen. So können auch erhöhte oder erniedrigte Strahlendosen zu einem gut belichteten Bild führen, da die Unterschiede entscheidend sind. Die Software ermittelt dabei meist automatisch eine Graustufe zu jeder Intensität. Diesen Algorithmus nennt man Signalnormierung. Er wird in der nachträglichen Bearbeitung angezeigt und kann gegebenenfalls manuell korrigiert werden. Die Abbildung 6 verdeutlicht diesen Verarbeitungsschritt.



Ein weiterer wichtiger Parameter ist die DQE (Detective Quantum Efficiency). Die DQE gibt die Effektivität an, mit der die Detektorplatte auftretende Röntgenstrahlen in ein Signal umwandelt. Eine theoretische Platte mit einer DQE von 100% würde alle Röntgenstrahlen die auf die Platte auftreten, aufnehmen und verarbeiten.

Eine hohe DQE hat zwei Vorteile. Es gehen weniger Informationen verloren, und es kann die absolute Strahlendosis reduziert werden. Somit ist die DQE einer der wichtigsten Qualitätsparameter von Detektorplatten. Bei guten indirekten Detektorplatten liegt die DQE bei etwa 0,65 im Vergleich zu CR Systemen mit etwa 0,35 (Cowen et al. 2008).



**Abbildung 6: Aufbau eines digitalen Bildes (Carlton und Adler 2012). A: Nach Pixeln aufgeschlüsselte Strahlendichte auf der Matrix B: Verteilung der verschiedenen Strahlendichten nach Anzahl der Pixeln als Säulendiagramm. C: Gleiche Information wie in B als Histogramm**

#### 4.5.2.3 Bildverarbeitung

Die Entwicklungen in der Informationstechnik waren in den letzten Jahren enorm und sind noch nicht abgeschlossen. Diese Entwicklung wirkt sich auf die Medizintechnik aus.

Die von der Detektorplatte abgeleiteten Ströme sind analoge Daten. Diese müssen einer Analog-Digital-Umwandlung unterzogen werden. Dabei entstehen die digitalen Rohdaten. Im nächsten Schritt dem „pre-processing“ werden die Rohdaten in DICOM-Originaldaten umgewandelt. Dabei sind verschiedene Korrekturprozesse aktiv. Es werden z.B. defekte Pixel ersetzt und eine Verstärkungskorrektur durchgeführt.

Im „post processing“ wird das Befundungsbild erstellt. Hierbei werden komplexe Filterungsmasken angewendet, um das Bild „optimal“ für den gewünschten Bereich

einzustellen. Die Signalnormierung passt die Belichtung an und kann diese zu einem gewissen Grad ausgleichen. Die Ortsfrequenzfilterung oder auch „Kantenanhebung“ erzeugt eine höhere optische Schärfe. Bei der Harmonisierung werden sehr dunkle Bereiche aufgehellt und helle Bereiche etwas verdunkelt. So können in einem Bild sehr verschiedene Objekte dargestellt werden. Die Rauschunterdrückung verhindert Bildrauschen.

Diese Masken werden nicht gleichermaßen auf das gesamte Bild angewendet. Im multiskalaren Verfahren wird das Bild in verschiedene Bereiche eingeteilt und die entsprechenden Filter angewendet. Diese komplexe Bildverarbeitung führt in der Regel zu optimalen Befundungsbildern. Ist die Software jedoch nicht korrekt eingestellt, können durch die Bildkorrektur Informationen verloren gehen. Bei der Bildverarbeitung treten spezielle Artefakte auf. Beim Halo-Artefakt führen Kantenanhebungsrouitinen neben dunklen Bereichen zu nicht im Originalbild vorhandenen Aufhellungen und umgekehrt (NAR 2011).

Die Digitalisierung von Patientendaten und besonders von radiologischen Bildern ist weit verbreitet. Bei dieser Entwicklung wurde schnell klar, dass es sinnvoll ist, wenn alle diagnostischen Geräte und Programme fehlerfrei und unkompliziert miteinander kommunizieren können. Dies macht einen für alle Medizinbereiche anwendbaren Dateienstandard erforderlich. Dieser „heilige Gral“ (Gibaud 2011) kann die medizinische Versorgung revolutionieren. So könnte der (Tier)Arzt im Idealfall jederzeit auf alle bisher durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse zugreifen. So sind Patientenentwicklungen schneller erkennbar und Doppeluntersuchungen können verhindert werden. Da jedes Land andere gesetzliche Vorschriften, jede Firma unterschiedliche Daten und jede Klinik verschiedene Hardware hat, ist diese Entwicklung äußerst komplex.

Wichtige Begriffe bei digitalen medizinischen Daten:

DICOM: digital imaging and communications in medicine standard

Der DICOM-Standard ist ein Dateiformat für die Medizin. Der DICOM-Standard wurde 1993 eingeführt und seither ständig überarbeitet, um ihn an Weiterentwicklungen anzupassen. Über 750 Experten aus Medizin, Medizintechnik und Regierungsorganisationen haben ihn entwickelt (Lipton et al. 2012). 2004 wurde der DICOM-Standard um den WADO (Web access to DICOM persistent objects) erweitert. Dadurch wurde es möglich über das Internet DICOM Dateien zu nutzen. DICOM ist ein offener Standard und frei verfügbar (<ftp://medical.nema.org/medical/dicom/>). DICOM ist zwar der am weitesten verbreitete Standard

aber nicht rechtlich bindend wie zum Beispiel DIN/ISO Standards (Gibaud 2011). Zusammenfassend ist DICOM die Sprache, mit der verschiedene Geräte mit einander kommunizieren können. Prinzipiell besteht eine DICOM-Datei aus einem Bild und den angehängten Metadaten.

PACS: picture archiving and communication systems.

Alle an das PACS angeschlossenen Geräte senden ihre (Bild)Daten an das PACS. Das PACS speichert diese in einer Datenbank. Bei Bedarf kann es dann wiederum abgerufen werden. Es können entweder die vollständigen DICOM-Daten abgerufen werden. Es ist jedoch auch möglich nur bestimmte anwendungsorientierte Daten abzurufen. Dieser Vorgang beschleunigt die Verarbeitung (Langer et al. 2012). Die PACS Systeme können/ müssen dann wie andere wichtige Speichersysteme abgesichert werden. Bei ungesicherten PACS besteht die Möglichkeit eines vollständigen Datenverlustes. In der Pferdepraxis sind auch so genannte MiniPACS üblich. Das sind Systeme auf dem RIS, Software für das bildgebende Gerät, Datenbankensysteme und Betrachtungssoftware auf einem Rechner installiert sind.

RIS: Radiologieinformationssystem

Diese Programme dienen der Organisation von radiologischen Untersuchungen. Sie können Teil der sonstigen Klinikorganisationssoftware sein. So werden über das RIS bestimmte Untersuchungen angefordert und an das entsprechende Gerät gesendet. Das RIS muss natürlich auch mit dem PACS zusammenarbeiten, um dann Bilder zu erhalten (Langer, Ramthun et al. 2012). Eine Befundungssoftware ist meist ebenfalls Teil des RIS. Ein Beispiel aus der Tiermedizin ist das Easy Image© als Teil von Easy Vet©. Die Nutzung von RIS bietet den Vorteil, dass bildgebende Untersuchungen/ Ergebnisse und Patient verknüpft werden. So sind Tippfehler (wie Schröder und Schrödter) oder Formatierungsfehler (nicht beachtete Klein und Großschreibung), die ein Auffinden in einer Datenbank sehr schwer gestalten, ausgeschlossen.

Workflow bezeichnet den standardisierten Ablauf einer radiologischen Untersuchung. Je nach Hard-, Software und Klinikgröße sind verschiedene Abläufe möglich und sinnvoll.

Bei digitalen Röntgenbildern müssen vor den Aufnahmen alle Daten zum Patienten eingegeben werden. Am besten ist die Lebensnummer/ Chipnummer des Equiden geeignet. Sie bietet eine eindeutige Identifizierung. Als nächstes muss die Aufnahmeart ausgewählt

werden. So kann das System die vorher eingestellten Parameter, die für diese Aufnahme empfohlen sind, laden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Bilder automatisch gedreht werden und ein digitaler Röntgenmarker an die richtige Position gesetzt wird. Dies funktioniert nur, wenn die Röntgenkassette und die Strahlenrichtung nach Herstellerangaben ausgeführt werden. Alternativ können auch eine/mehrere Aufnahmen über das Praxisorganisationsprogramm angefordert werden.

Die angehängten Daten sind dann untrennbar mit der Aufnahme verbunden. Diese DICOM-Daten können auch in andere Bilddateien umgewandelt werden. Bei dieser Transformation gehen jedoch Informationen verloren. Die Daten werden von der Software in Datenbanken abgelegt und können so jederzeit einfach und schnell über Suchmasken gefunden werden. Dafür ist es wichtig, dass Daten immer im selben Format eingegeben werden, da sonst die Suchroutinen nicht funktionieren.

Ein weiterer Vorteil dieser digitalen Daten ist, dass sie nahezu in Echtzeit mit Dritten über das Internet ausgetauscht werden können. Dabei müssen jedoch spezielle Programme und Verschlüsselungen benutzt werden. Eine unbefugte Weitergabe von Patientendaten ist nach §203 des Strafgesetzbuches verboten. Da aus rechtlichen Gründen Röntgenbilder 10 Jahre lang aufbewahrt werden müssen, ist eine Datensicherungsstrategie unverzichtbar. Die genauen Spezifikationen sind in §28 der Röntgenverordnung geregelt. In diesem Paragraph sind auch explizite Anforderungen an digitale Dateien aufgelistet. Dabei sind verschiedene Ansätze und deren Kombination möglich und sinnvoll.

### **4.5.3 Bildauswertung**

Für die Auswertung von digitalen Röntgenbildern sollte ein abdunkelbarer Raum zur Verfügung stehen. Lichtreflexionen können das Erkennen von Befunden erschweren. Es müssen spezielle und qualitativ hochwertige Bildschirme verwendet werden. Die Bildschirme müssen schwarz auch als schwarz darstellen und eine gleichmäßige Ausleuchtung haben. Bei zertifizierten Bildschirmen kann die DICOM Grayscale Standard Display Function (GSDF) (NEMA 2015) genutzt werden. Da DR-Systeme die Bilder sofort liefern, besteht die Gefahr, diese voreilig unter ungeeigneten Bedingungen, wie im Stall, auszuwerten. Die Auswertungssoftware bietet meist komplexe Funktionen. In der Humanmedizin müssen Bildwiedergabesysteme nach der DIN 6868-157 zertifiziert sein. Dabei werden sowohl an Software, Bildschirme als auch die Betrachtungsräume, Mindestanforderungen gestellt (Madsack 2014).

Es können Ausschnitte beliebig vergrößert oder verkleinert werden. Der Kontrast kann geändert werden. Die Helligkeit kann angepasst werden. Durch das Verändern von Kontrast und Belichtung können pathologische Befunde teilweise besser erkannt werden. Die Programme bieten auch die Funktion, Längen, Flächen und Winkel zu messen. Die Messung von Längen ist jedoch projektionsbedingt zu sehen. Für genaue und reproduzierbare Messungen muss ein Marker mit bekannter Größe bei demselben Fokus-Objekt-Abstand platziert werden und die Größen dann ins Verhältnis gesetzt werden. In der Praxis werden deshalb meist nur Verhältnisse zu anderen anatomischen Strukturen angegeben.

#### **4.5.4 Strahlenschutz**

Der Umgang mit Röntgenstrahlen ist in Deutschland durch die Strahlenschutzverordnung (1987) und Röntgenverordnung (2001) geregelt. Röntgenstrahlen sind gesundheitsschädigend! Die Absorption von Röntgenstrahlen kann Enzyme und die DNS schädigen. So benötigt der Tierarzt eine Sachkunde und die benutzten Strahler eine Zulassung.

Es gibt wichtige Grundregeln beim Anfertigen von Röntgenbildern (Butler 2000):

1. Es sollen sich nur die absolut nötigen Personen im Sicherheitsbereich aufhalten.
2. Die Fixierung, notfalls die Sedierung des Pferdes ist entscheidend, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden.
3. Es sind nach Möglichkeit Kassettengeräte zu benutzen.
4. Der Röntgenstrahl soll immer eingeblendet werden. Es darf niemals ein Mensch, egal ob Schutzkleidung getragen wird, im Primärstrahl stehen. Der Primärstrahl geht auch durch ein Pferd durch, ohne dass der Lichtstrahl es anzeigt!
5. Alle Menschen im Sicherheitsbereich müssen Strahlenschutzrüstung tragen.

#### **4.5.5 Röntgenprojektionen**

Die röntgenologische Darstellung des Strahlbeins birgt für den Tierarzt Schwierigkeiten, die sich aus den anatomischen Gegebenheiten ergeben. Eine überlagerungsfreie Darstellung ist nur mit bestimmten Projektionen zu erreichen ist (Ueltschi 2002). Die Standardaufnahme ist die „Oxspringaufnahme“, die von Oxspring (1935) beschrieben wurde.

Morgan (1968) beschrieb die palmaroproximal-dorsodistale Schrägaufnahme, die teilweise auch Skylineaufnahme oder Tangentialaufnahme genannt wird. Auch Dyson (2011) betont die Wichtigkeit der Skylineaufnahme, besonders für frühe Veränderungen an der Sehnengleitfläche, auch wenn De Clerq (2000) diese für verzichtbar halten.

Die dritte Aufnahme ist eine auf das Strahlbein zentrierte latero-mediale Aufnahme. Eine dorso-palmare Projektion um parasagittale Frakturen und proximo-mediale und laterale Enthesiophyten darzustellen ist ebenfalls möglich (Dyson 2011).

#### **4.5.5.1 Oxspringaufnahme**

Die im deutschen Sprachraum nach ihrem Erstbeschreiber Oxspring (1935) genannte Aufnahme ist die dorsoproximale-palmarodistale Schrägaufnahme. Umgangssprachlich wird sie auch im angelsächsischen „upright pedal“ genannt. Zusätzlich gibt es die „high coronary route“, bei der das Pferd auf einem Röntgentunnel steht und der Zentralstrahl von dorsoproximal nach palmarodistal gerichtet wird.

##### **4.5.5.1.1 Ursprung**

Im Jahr 1935 ist eine umfangreiche Publikation über die Radiologie vom Strahlbein von Oxspring erschienen. Die bis dahin übliche „high coronary route“ hat den Nachteil, dass die Röntgenstrahlen den Film nie senkrecht treffen können. Als Lösung wird die Nutzung einer Lagerungshilfe beschrieben. In dieser Lagerungshilfe liegt die Hufspitze. Der Winkel beträgt 45 Grad, so dass der Hufrücken nahezu senkrecht zum Boden steht. Die Kassette wird jetzt direkt hinter dem Huf gehalten. Diese Aufnahme wird heute zu Ehren des Erstbeschreibers auch Oxspringaufnahme genannt. Es sind auch weitere wichtige und noch heute gültige Beschreibungen enthalten, wie das Ausfüllen der Strahlfurchen mit Schmierseife. Der Artikel beschreibt auch die Röntgenbefunde mit ihren Pathologien. Dafür wurden viele Röntgenaufnahmen mit makroskopischen Präparationen verglichen (Oxspring 1935).

##### **4.5.5.1.2 Vorbereitung**

Der Huf muss vor der Aufnahme gründlich gereinigt, gegebenenfalls frisch ausgeschnitten werden und die Strahlfurchen mit Füllmaterialien geschmiert werden, um Artefakte durch Luft und Schmutz zu verhindern (Oxspring 1935, Ueltschi 2002, Redden 2003, Dyson 2011, Coomer et al. 2013). Eine übermäßige Ausfüllung kann die Qualität des Röntgenbildes

verschlechtern. Eine fehlerhafte und lockere Füllung kann schwer zu deutende Artefakte auf dem Bild erzeugen (Butler 2000). Die Entfernung der Eisen wird empfohlen (Dyson 2011, Coomer et al. 2013). Ueltschi (2002) hält dagegen die Entfernung der Eisen, so wie eine leichte Sedierung z.B. mit Xylazin und Polamivet für zwingend erforderlich. Für manche Fragen kann eine Aufnahme mit Eisen sinnvoll sein. Auf jeden Fall sollte der Besitzer vor der Hufaufbereitung aufgeklärt werden. Besonders bei Pferden mit schmerzhaften Prozessen am Huf sollte eine Indikation sehr genau gestellt werden, um dem Pferd vermeidbare Schmerzen durch das Abnehmen der Eisen zu ersparen (Redden 2003).

Für Röntgenaufnahmen, die im Rahmen eines Pferdeverkaufs durchgeführt werden, empfiehlt der Röntgenleitfaden von 2007: „Das Entfernen der Hufeisen wird sowohl für die Zehe 90° als auch für die Oxspring-Aufnahme empfohlen. Die Entfernung der Hufeisen ist notwendig, wenn wichtige Bereiche durch das Hufeisen nicht beurteilbar und weitere Qualitätsmängel zu befürchten sind. Wird keine, wegen der Überlagerung notwendige neue Röntgenaufnahme angefertigt, sollte eine Absprache mit den Parteien erfolgen.“

#### **4.5.5.1.3 Lagerung**

Der Huf wird dann in einem speziellen Oxspringblock gelagert. Dieser Block hat eine Auflagefläche für die Hufsohle im Winkel von 50° bis 60° zum Boden. Damit steht die dorsale Hufwand im rechten Winkel zum Boden.

Ein Winkel von 60° im Block liefert die besten Ergebnisse. In Deutschland benutzen 36,8% der Tierärzte Blöcke mit 55° und 39,5% mit 60° Winkel (Rheiner 2010). Auch Coomer et al. (2013) empfehlen einen Winkel von 60°. Die Röntgenkassette wird direkt hinter den Huf ebenfalls im rechten Winkel zum Boden gehalten bzw. in die integrierte Halterung am Oxspringblock eingelegt. Die zu untersuchende Gliedmaße sollte etwas kaudal der kontralateralen Seite und im Fesselgelenk gestreckt gelagert werden (Dyson 2011).

Eine Verbesserung der Aufnahme durch Reduzierung von Streustrahlen kann durch ein Raster oder die Grödeltechnik (Air-Gap-Technik) erreicht werden (Floyd 2009). Die Grödeltechnik ist einfach umsetzbar, kann jedoch im praktischen Alltag zu Problem führen. So werden mindestens drei Personen benötigt und Streustrahlen ausgesetzt.

#### **4.5.5.1.4 Ausrichtung des Zentralstrahles**

Die Ausrichtung des Zentralstrahls sollte 2 cm proximal des Kronrandes mittig parallel zum Boden erfolgen (Coomer et al. 2013). Eine spezifischere Ausrichtung nach dem der Zentralstrahlwinkel der Trachtenhöhe angepasst wird, ist ebenfalls möglich. So erfordern niedrige Trachten einen um ca. 5° nach distal geneigtem Strahlengang. Bei unklaren Befunden ist eine zweite Aufnahme mit einem leicht geänderten Winkel sinnvoll (Ueltschi 2002, Dyson 2011).

#### **4.5.5.1.5 Belichtungswerte**

Die Belichtungswerte können nicht starr angegeben werden. Sie müssen für jedes Röntgengerät, jedes Bildaufnahmesystem, passend zum Patienten und der zu untersuchenden Strukturen neu eingestellt werden (Redden 2003). Dennoch empfehlen sich Richtwerte, an denen man sich orientieren kann. Diese sind den Angaben der Hersteller der Röntgensysteme zu entnehmen.

#### **4.5.5.1.6 Abbildung**

Das Strahlbein soll in der unteren Hälfte des Kronbeins abgebildet sein, ohne dass der distale Rand durch den Gelenkspalt des Hufgelenkes überlagert wird (Pferdemedizin 2007). In dieser Abbildung kann der Margo proximalis und distalis gut beurteilt werden. Distale isolierte Verschattungen (distal border fragments), die Sesambeinkanäle, die Struktur des Strahlbeins, eventuelle Frakturen und Enthesiophyten können gut beurteilt werden.

#### **4.5.5.2 Skylineaufnahme**

Die Skylineaufnahme ist je nach Autor auch als Morgan-Aufnahme oder im angelsächsischen als palmaroproximal-palmarodistale Schrägaufnahme bekannt. Sie wird von einigen Autoren sehr geschätzt (O'Brien et al. 1975, Ueltschi 2002, Dyson 2011). Die Arbeitsgruppe von De Clerq (2000) hält sie für wenig informativ.

##### **4.5.5.2.1 Ursprung**

Diese Aufnahme wurde um 1973 in Davis in Kalifornien entwickelt (Morgan 1973, Obrien et al. 1973). Durch eine Aufnahme in einer zweiten Ebene konnten zusätzliche Informationen gewonnen werden. Besonders gut konnte die Sehnengleitfläche, der darunter liegende subchondrale Knochen und die Dichte der Markhöhle dargestellt werden. Veränderungen an diesen Strukturen wurden als sehr frühe Anzeichen der ND gesehen (O'Brien et al. 1975).



#### **4.5.5.2.2 Vorbereitung**

Da die Röntgenröhre unter dem Bauch des Pferdes gelagert werden muss, ist eine gute Sedierung erforderlich (Ueltschi 2002). Die Hufballen müssen gereinigt werden, um Überlagerungen mit Schmutz zu vermeiden. Die Eisen müssen bei engen Schenkeln entfernt werden, wenn dies nicht bereits für die Oxspringaufnahme geschehen ist.

#### **4.5.5.2.3 Lagerung**

Für die Aufnahme ist ein ausreichend stabiler Röntgentunnel erforderlich. Die zu untersuchende Gliedmaße muss möglichst weit nach kaudal gelagert werden, um eine Überlagerung mit dem Fesselkopf zu vermeiden, und es müssen beide Vordergliedmaßen Last aufnehmen (Ueltschi 2002, Coomer et al. 2013). Ein in der Höhe und im Winkel verstellbares Stativ in kompakter Bauweise wie der Dragster (Podoblock 2014) ist empfehlenswert.

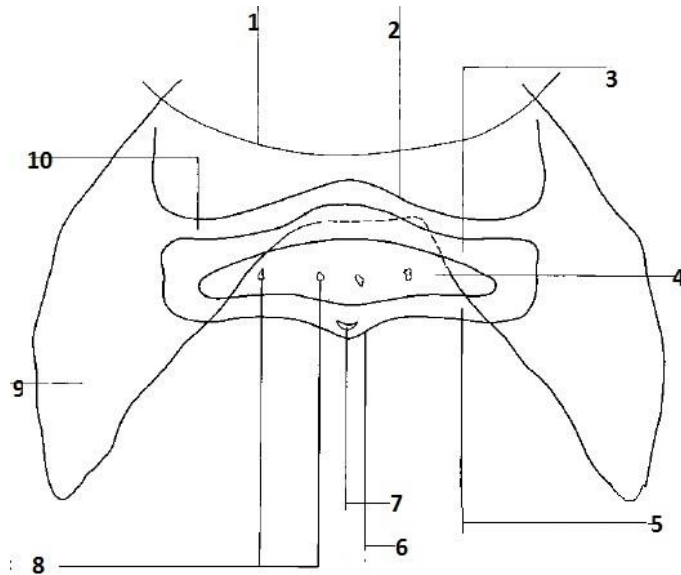
#### **4.5.5.2.4 Ausrichtung Zentralstrahl**

Der Zentralstrahl wird palmaroproximal-dorsodistal median im Winkel von 45° zum Boden auf die Hufballen ausgerichtet (Coomer et al. 2013). Er kann auch im Winkel von 55° und mehr auf den kranialsten Teil der Ballengrube bis hin zur Beugesehne ausgerichtet werden (Ueltschi 2002).

#### **4.5.5.2.5 Abbildung**

Bei der Skylineaufnahme in einem Winkel von 55° bildet sich das Strahlbein ohne Überlagerung zwischen den Hufbeinästen ab. Dabei gelten die folgenden Befunde als physiologisch.

1. Eine gleichmäßig dicke subchondrale Knochenplatte der Facies flexoria mit glatter Oberfläche. Als Variante ist manchmal die Knochenplatte im Mittelkamm unterbrochen oder dünner ausgebildet.
2. Eine scharf gegen die Facies flexoria abgegrenzte Spongiosa mit feinmaschiger, nicht zu dichter Knochenstruktur. Die Spongiosa weist nur wenige größere Sesambeinkanäle auf. Die Struktur sollte in beiden Strahlbeinen ähnlich sein.
3. Gegen das Hufgelenk kann eine weitere dichte Knochenschicht erkannt werden. Dies ist der subchondrale Knochen des Hufgelenks.
4. Die Strahlbeinenden sind gleichmäßig abgerundet. Als Formvariante treten auch eckige Enden ähnlich einer Schuhschachtel auf (Ueltschi 2002).



Die Abbildung 7 zeigt eine Schemazeichnung der Abbildung des Strahlbeins bei der Skylineaufnahme.

**Abbildung 7: Schematische Darstellung einer Röntgenaufnahme nach Morgan (Butler et al. 2011);** 1 – palmarer Anteil vom Fesselgelenk; 2 – palmarer Anteil vom Kronbein; 3 – Gelenkfläche des Strahlbeins; 4 – Mark des Strahlbeins; 5 – Beugesehnenfläche des Strahlbeins; 6 – sagittaler Kamm; 7 – gut definierte halbmondförmige Aufhellung im sagittalen Kamm; 8 – Strahlbeinkanäle; 9 – Hufbeinast; 10 – Kontaktbereich zwischen Kronbein und Strahlbein

#### 4.5.6 Auswertung

In der Tabelle 1 sind die gängigen Bewertungsbefunde und Klassen aufgeführt. Um einen gewissen Bewertungsspielraum zu haben, sind bei einigen Befunden, je nach Schwere, mehrere Klassen möglich. Diese Klassen sind jedoch nicht mit denen des RÖLF zu verwechseln.

Bei der Beurteilung ist zu beachten, dass bei ca. 10% der gesunden Pferde „pathologische Röntgenbefunde“ und bei bis zu 30% der ND- kranken Pferden keine oder nur „verdächtige“ Röntgenbefunde gefunden werden können (Seyrek-Intas et al. 1999). Jedoch korreliert die Anzahl der Befunde mit der wirklichen Pathologie, da einzelne Befunde sehr selten bei „Kranken“ auftreten (Seyrek-Intas et al. 1999).

In Deutschland ist die Kategorisierung von Röntgenbildern nach dem Röntgenleitfaden üblich. Im RÖLF sind für die Bewertung des Strahlbeins die laterale und die Oxspringaufnahme aufgeführt. Der Röntgenleitfaden befindet sich im Anhang. Eine kritische Auseinandersetzung der Befunde und ihrer Bedeutung gibt die Arbeit von Erdmann (2009).

Tabelle 1 Auswertung nach Dyson (2011)

Merkmal	Exzellent bis gut (0-1)	Verdächtig (2-3)	Schlecht (4)
Kontur	symmetrisches Erscheinungsbild	große Enthesiophyten, Verschattungen an Weichteilen	große zystenartige Läsionen, Aufhellungen in der Facies flexoria
Knochendichte	feines Trabekulärsystem erkennbar, homogen	erhöhte Knochendichte im Markraum, inhomogen	
Knochenstruktur	feines Trabekulärsystem erkennbar	grobmaschiges Trabekulärsystem	
Veränderung der Form der Strahlbeinkanäle	weniger als 6 konisch geformte Kanäle, an der distalen horizontalen Seite	mehr als 7 teilweise unregelmäßig geformte Kanäle, Kanäle im schrägen Seitenteil oder proximal	Neubildung an der Facies flexoria
Veränderung in der Knochenarchitektur	gute Abgrenzbarkeit von Mark und Rinde	schlechte Abgrenzbarkeit zwischen Mark und Rinde,	Frakturen
Frakturen, Chips	nicht vorhanden	röntgendichte Fragmente am distalen Rand	
Facies flexoria	einheitlich dick und dicht	Verdickung und Aufhellungen in diesem Bereich	

Die Bewertung von hochgradig veränderten Befunden und unveränderten Befunden ist gut möglich. So sind besonders wichtige Befunde in Tabelle 2 aufgeführt (De Clercq et al. 2000):

Tabelle 2: Auswertung nach De Clerq (2000)

	Oxspringaufnahme	Skylineaufnahme
Wichtig	<ul style="list-style-type: none"> <li>-lokalisierte aufgehellte Bereiche</li> <li>-großflächige Bildung von neuem Knochen am proximalen Rand</li> <li>-unregelmäßige Trabekelstruktur</li> <li>-große Fragmente am distalen Rand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-lokalisierter, schlecht umschriebener Bereich im Flexor-Kortex oder Spongiosa</li> <li>-medulläre Sklerose</li> <li>-unscharfe beugeseitige kortikomedulläre Abgrenzung</li> <li>-Bildung von neuem Knochen an der Gelenkfläche</li> </ul>
Weniger wichtige Befunde	<ul style="list-style-type: none"> <li>-unregelmäßiger distaler Rand durch synoviale Invaginationen</li> <li>-scharf abgegrenzte neuer Knochen am proximalen Rand</li> <li>-Enthesiophyten an den Seitenästen des Strahlbeins</li> <li>-asymmetrische Form des Strahlbeins</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-verminderter Schatten des Flexor-Kortex</li> <li>-Verdünnung/Verdickung/ungleichmäßig dicker Kortex</li> <li>-Unterbrechung der glatten Silhouette des Flexor-Kortex</li> </ul>

#### 4.5.6.1 Einzelne Befunde

Canalis sesamodialis: Die Literatur über verschiedene Formen, Längen und Lagen der CS sind sehr vielfältig und sehr kontrovers. Befunde im Röntgen und aus der Computertomographie können stark variieren (Claerhoudt et al. 2012). Die Anzahl und auch Größe von den CS ist nicht von Bedeutung (Ueltschi 2002). Allgemein anerkannt gelten als pathologisch: große Kanäle im schrägen Seitenteil und formveränderte Kanäle, wie

„Lolliepops“ und verzweigte CS. Mehr als sieben CS können auch verdächtig sein (Dyson 2011).

Fragmente am distalen Rand der Facies flexoria (distal borde fragments): Sie sind häufig zu finden und wohl klinisch nicht von Bedeutung (Ueltschi 2002). Es ist jedoch ein Fall bekannt, bei dem ein solches Fragment wahrscheinlich eine Lahmheit verursacht hat (Biggi et al. 2013).

Knochenstruktur und Knochendichte: Pathologische Prozesse können zu Veränderungen der Knochenstruktur führen. Runde und fokale Aufhellungsbereiche (Zysten) ohne Verbindung zur Facies articularis und scharfe, abgegrenzte Aufhellungslinien (Frakturlinien) sind unumstritten pathologisch. Das gesamte Strahlbein betreffende Veränderungen wie Sklerosierungen, grobe Zeichnung oder osteoporotische Veränderungen sind höchst verdächtig, aber schwer zu interpretieren (Ueltschi 2002, Dyson 2011).

#### **4.6 Kontrastradiographie der Bursa podotrochlearis**

Eine in der Radiologie weit verbreitete Methode ist die Füllung von Hohlräumen, wie den synovialen Einrichtungen, mit Kontrastmittel. Durch diese Methode können Ausdehnung und auch Dichtigkeit dieser untersucht werden.

Abkürzend wird die Untersuchung der Bursa podotrochlearis auch als Bursographie bezeichnet. Bereits 1990 wurde die Kontrastmittelapplikation in die Bursa als Erfolgskontrolle für eine gezielte Injektion von Cortisonderivaten genutzt (Verschooten, Desmet et al. 1990). Diese Technik wurde ebenfalls benutzt, um die Kommunikation von Hufgelenk und Bursa podotrochlearis zu untersuchen (Gibson, McIlwraith et al. 1990). Die Ausdehnung und Anatomie der Bursa podotrochlearis lässt sich ebenfalls beurteilen (Jann et al. 1991).

Es ist eine einfache Methode Veränderungen im Hufrollenbereich festzustellen, die durch einfache Röntgenaufnahmen nicht zu finden wären (Turner 1998). Neben der aufwendigen MRT-Untersuchung ist es eine Möglichkeit, den Faserknorpel und Teile der tiefen Beugesehne zu beurteilen.

Vor der Einführung der MRT-Technik beim Pferd war sie neben der invasiven Endoskopie der Bursa podotrochlearis die einzige Möglichkeit, diese Strukturen am lebenden Pferd zu

beurteilen (Cruz et al. 2001). Die Bursographie hat eine geringe Aussagekraft für die Diagnostik der Podotrochlose (Würfel und Hertsch 2005).

Nach 344 Bursographien kommt Turner (2013) zu dem Schluss, dass diese Technik zusätzliche Informationen liefert. Der Faserknorpel der Facies flexoria kann beurteilt werden. Verbindungen zum Hufgelenk, die aufgrund einer Schädigung der Strahlbeinhaltbänder entstehen, werden sichtbar. Bursaverklebungen zeigen sich durch Veränderung der Form der Kontrastmittelsäule. Hinzu kommen zwei Informationen, die nicht oder nur schwer durch eine MRT-Untersuchung diagnostiziert werden können. Ein Auslaufen des Kontrastmittels aus der Bursa zeigt Risse in dieser an. Diese Risse führen zu einer Bursitis. Da diese Risse sehr klein sind, können sie nur durch den dynamischen Prozess der Bursographie dargestellt werden. Risse in der TBS, die mit der Bursa podotrochlearis in Verbindung stehen, können ebenfalls gut erkannt werden. Im Umkehrschluss lassen sich dann analog zum Kontrastmittel auch Therapeutika über die Bursa podotrochlearis applizieren. Diese erreichen dann ebenfalls die betreffenden Stellen.

#### **4.6.1 Vorbereitung**

Wie bei allen Punktionen sollte die Injektionsstelle gründlich gereinigt und desinfiziert werden. Der Besitzer muss vor der Punktion über die mögliche Komplikationen einer Infizierung der Bursa aufgeklärt werden. Die Entfernung von Haaren an der Punktionsstelle ist in Deutschland üblich.

Es besteht kein signifikanter Unterschied in der Bakteriendichte auf der Haut zwischen geschorener und ungeschorener Haut, wenn die Punktionsstelle mindestens fünf Minuten mit einer Jodseife gereinigt wird und anschließend mit einem Alkoholtupfer abgestrichen wird. Bei beiden Methoden ist mit durchschnittlich 200 CFU pro Abstrichstelle zu rechnen. Das Risiko, die Nadel durch eine Talgdrüse oder einen Haarfollikel zu stechen und somit die residente Keimflora in das Gelenk zu verschleppen, kann nicht durch eine oberflächliche Präparation verhindert werden (Hague et al. 1997).

Die Dauer der Reinigung mit Jod wird kontrovers diskutiert. Die Reinigung der Injektionsstelle des Hufgelenkes 10 Minuten, 5 Minuten, 3 mal 30 Sekunden mit einer Polividon-Jodlösung führt zur gleichen Reinigung. Zu beachten ist, dass die Injektionsstelle bei allen Techniken nicht keimfrei war. Dabei spielte die makroskopische Sauberkeit vor der Reinigung keine Rolle (Zubrod et al. 2004).

Das Risiko einer Gelenksinfektion wird jedoch bei sorgfältiger Vorbereitung als sehr gering angesehen. In einer aktuellen Studie wurde eine Komplikationsrate von 7,8 von 10'000 injizierten synovialen Strukturen berichtet. In dieser Studie wurden auch 541 Hufrollenschleimbeutelpunktionen berücksichtigt, ohne Komplikationen (Steel et al. 2013). Es konnte jedoch ein Zusammenhang zwischen Komplikationsrate und ausführendem Tierarzt hergestellt werden. Das betont noch einmal die Bedeutung des absolut sorgfältigen Arbeitens.

Die Wahl des Nadelkalibers ist entscheidend. So ist das Risiko 3,5mal höher, mit einer 16G Nadel Haare und Debris in das Gelenk zu bringen, als mit einer 22G Nadel. Der Eintrag von Haaren bzw. Haarpartikeln wird durch Scheren und Rasieren erhöht, bei der Verwendung von geschärften offenen Kanülen. Bei der Verwendung von Spinalkanülen mit Stilett konnten sich, bei ungekürztem Fell Haare zwischen Stilett und Nadel verfangen. Die Nutzung von Spinalkanülen um ein Ausstanzen von Gewebe zu verhindern konnte ebenfalls nicht bestätigt werden. Es zeigte sich das Gegenteil. Die Nutzung von kann das Kontaminationsrisiko mit Gewebe erhöhen. Der spezielle Schliff der Spinalkanülen ist verantwortlich. Ca. 90% der Proben waren mit Gewebeausstanzungen bei allen verschiedenen Nadelgrößen und Typen kontaminiert. Diese Gewebeausstanzungen wurden nicht weiter differenziert und könnten natürlich auch von tieferen und damit sterilen Gewebeschichten kommen. Der Einstichwinkel kann die Kontamination des Gelenkes mit Stanzgewebe beeinflussen. So ist ein gewinkelter Einstichwinkel von 45° mit geringerem Kontaminationsrisiko gegenüber einem senkrechten Einstich mit Haaren verbunden (Adams et al. 2010, Wahl et al. 2012).

#### **4.6.2 Applikationsroute**

Es sind in der Literatur bis zu fünf verschiedene Zugänge in die Bursa podotrochlearis beschrieben (Schramme et al. 2000). Das zu injizierende Bein wird von einer Hilfsperson aufgehalten oder in einem Oxspringblock positioniert. Dann wird die Nadel zwischen den Hufballen genau über dem Ende des Kronrandes eingestochen. Dabei zielt man bei genau mittiger Nadelführung auf einen Punkt der einen Zentimeter unter dem Kronrand liegt, gemessen genau mittig zwischen dorsalem und palmarum Ende des Kronrandes. Die Nadel wird dann vorgeschoben bis man den Knochen erreicht. Zur Kontrolle wird dann eine 90 Grad Aufnahme angefertigt (Schumacher et al. 2013).

Vereinfachend kann auch die Nadel parallel zur Sohlenfläche vorgeschoben werden (Turner 1998). Wenn die Nadel dann auf der Facies flexoria liegt, ist man mit hoher Sicherheit in der Bursa. Bei therapeutischen oder diagnostischen Injektionen kann 1 ml Kontrastmittel zur

Erfolgskontrolle mit injiziert werden (Verschooten et al. 1990, Schumacher et al. 2013). Nach der Applikation wird noch eine seitliche Aufnahme angefertigt. Alternativ ist auch eine Ultraschall gelenkte Punktion möglich (Spriet et al. 2004). Zu beachten ist jedoch, dass bei jeder Injektion nach dieser Technik die tiefe Beugesehne durchstoßen und der Knorpel der Facies flexoria angekratzt wird und so jede Injektion sorgfältig abgewogen werden sollte (Labens und Redding 2012).

#### **4.6.3 Kontrastmittel**

Für die Untersuchung von synovialen Einrichtungen kommen nichtionische Kontrastmittel auf Jodbasis zum Einsatz. Jod hat eine sehr hohe Ordnungszahl von 53 und adsorbiert somit viel Röntgenstrahlung. Sie gelten als gut verträglich und Nebenwirkungen sind selten (Bracco Imaging 2013). Untersuchungen zur Auswirkungen von diesen Kontrastmitteln auf die synovialen Membranen von Pferden existieren nicht. Da sie chemisch sehr inert sind, sind negative Auswirkungen unwahrscheinlich. Leichte Nebenwirkungen sind nur bei der Verwendung von größeren Mengen intraarteriell zu beobachten (Pollard und Puchalski 2011).

#### **4.6.4 Auswertung**

Nach erfolgreicher Injektion wird eine Skylineaufnahme (palmaro-proximal palmaro-distale Schrägaufnahme) angefertigt. In dieser Projektion zeigt sich dann von dorsal nach palmar: die Corticalis der Facies flexoria, dann der strahlendurchlässige Faserknorpel, die Kontrastmittel gefüllte Bursa podotrochlearis, die nach palmar durch die strahlendurchlässige tiefe Beugesehne begrenzt wird.

So kann man nach Turner (1998) fünf Basisbefunde feststellen:

1. Normalen Faserknorpel;
2. Verdünnung oder Erosionen auf dem Faserknorpel;
3. Verlust des Kontrastmittelfadens zwischen Corticalis der Facies flexoria und tiefen Beugesehne, was ein Hinweis auf eine Verklebung oder Verwachsung ist;
4. Fokale Füllungen in der Corticalis der Facies flexoria, als Hinweis auf zystenähnliche Läsionen;



5. Unregelmäßige Füllungen am Übergang zur tiefen Beugesehne, als Hinweis auf Auffaserungen.

In ihrer aktualisierten Ausführung stellt Turner (2013) noch folgende Befunde vor:

1. Verbindung vom Hufgelenk zur Bursa podotrochlearis als Zeichen einer Pathologie in den CSL
2. Verengung oder Erweiterung der proximalen Grenze der Bursa podotrochlearis als Anzeichen einer Entzündung
3. Ein Auslaufen der Kontrastmittel aus der Bursa zeigt einen Riss der Bursa an und die Schädigung der Struktur, in die das Kontrastmittel läuft, wie das distale Sohlenringband, den CSL und dem DSIL

Diese Auswertungsroutine konnte durch Würfel und Hertsch (2005) nicht bestätigt werden. Sie messen der Bursographie nur sehr geringen diagnostischen Wert bei. Sie konnten in keinem Fall den Faserknorpel der Facies flexoria darstellen. Die drei Linien, die den Faserknorpel darstellen sollen, halten sie für ins Paratendineum der TBS gelaufenes Kontrastmittel. In dieser Studie wurden ebenfalls Oxspringaufnahmen angefertigt. Sie galten als krankheitsverdächtig, wenn sich Kontrastmittel auf dem Strahlbein ansammelte.

#### **4.7 Präparation**

Der Vergleich von radiologischen Bildern mit pathologischen Untersuchungen ist eine verbreitete Möglichkeit, Befunde zu vergleichen (Blunden et al. 2009, Murray et al. 2009, Komosa et al. 2014). Die makroskopische Untersuchung ist nur für fortgeschrittene Veränderungen sinnvoll. Veränderungen und Schäden im Frühstadium können nur durch histologische Untersuchungen erkannt werden (Blunden et al. 2006, Komosa et al. 2014).

Die zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken durchgeführte Bursoskopie bietet auch makroskopische Bilder und wird dennoch sehr geschätzt (Cruz et al. 2001, Rossignol und Perrin 2003). Bei Pferden mit angemessenen Röntgenbildern können makroskopische Läsionen gefunden werden (Komosa et al. 2014). Eine Eindellung im Sagittalkamm ist physiologisch (Poulos und Brown 1989). Makroskopische Veränderungen an Sehne, Knorpel der Sehnengleitfläche sind häufig bei Pferden mit Podotrochlose. Sie sind jedoch auch bei

klinisch gesunden Pferden anzutreffen (Drommer et al. 1992). So sind ggr. Veränderungen an Knorpel und Sehne wahrscheinlich nicht Schmerz auslösend und ein Altersphänomen.

Es kommt erst zu Schmerzen bei sehr weit fortgeschrittenen Veränderungen (Doige und Hoffer 1983). Nur an Podotrochlose erkrankten Pferden sind zu finden: vollständiger Knorpelverlust (Sehnengleitfläche), Erosionen des Knochens, Markauflösungen im Strahlbein, TBS Auffaserungen, TBS Kernläsionen und Adhäsionen zwischen TBS und Strahlbein. Knorpelverdünnung und distale Fragmente sind öfter bei an Podotrochlose erkrankten Pferden, als an gleichaltrigen Kontrolltieren zu finden (Blunden et al. 2006a, Blunden, et al. 2006b). Umbildung der proximalen Kante, Verfärbung der Sehne und des Knorpels und Enthesiophyten sind bei Pferden und gleichaltrigen Kontrolltieren genauso oft zu finden und somit wahrscheinlich ein Altersphänomen (Wright et al. 1998).

## **5. Material und Methoden**

### **5.1 Untersuchungsmaterial**

Es wurden Pferdebeine beim Schlachter gesammelt. Die Beine wurden nach der Tötung im Karpalgelenk abgesetzt. Bis zur Untersuchung wurden die Beine tief gekühlt bei -18°C gelagert. Vor der Untersuchung wurden die Beine 24h bei Raumtemperatur aufgetaut. Es waren über die Pferde keine weiteren Informationen vorhanden. Es wurden nur Beine von Tieren genommen, die phänotypisch einem Warmblüter entsprachen. Dabei ist es möglich, dass sich andere Rassen im Probenpool befanden. Alle Beine kamen paarweise in Kunststofftüten. In jeder Tüte befand sich das Beinpaar von einem Pferd. Über Alter, Verwendungszweck und eventuelle Lahmheit gab es keine Informationen. Es wurden von 48 Pferden jeweils beide Vordergliedmaßen verwendet. Die Tabelle 3 zeigt die gesammelten und sortierten Beine. Bei der Sortierung wurde jedem Bein eine fünfstellige Nummer zugeordnet.

### **5.2 Vorbereitung der Beine**

Die Beine wurden sehr gründlich trocken gereinigt. Es wurde mit einem Hufmesser alle losen Hornteile entfernt und die Hufstrahlen ausgeschnitten. Einige Beine befanden sich in einem sehr schlechten Zustand. Diese wurden besonders radikal ausgeschnitten. Anschließend wurden mit einer handelsüblichen Drahtbürste sowohl die Sohlenfläche, die Ballen und die Hufwände gereinigt. Dieser Vorgang wurde für alle Beine durchgeführt. Dann wurden die Strahlen mit Fasstürlinien „Prima“ der Firma Carl Moser® ausgeschmiedet. Bei diesem Schritt wurde besonders beachtet, die Enden der Strahlen an den Hufballen luftfrei aufzufüllen. Anschließend wurden die Beine paarweise sortiert und linkes und rechtes Vorderbein bestimmt. Danach wurden per Zufallsprinzip die Markerplatten zu den Beinen sortiert. Nach diesem Schritt wurden die Paare wie in Tabelle 3 aufgezeichnet sortiert und Fotografien angefertigt. Als letzten Schritt wurden die Beine nach rechten und linken Beinen umsortiert und die Reihenfolge für die Röntgenaufnahmen festgelegt (Tabelle 6). Die Abbildung 8 zeigt die aufbereiteten Präparate. Als Markerplatten dienten Aluminiumplättchen mit einer Größe von 3cm mal 6cm und einer Dicke von ca. 2mm. Diese hatten eine 8mm Lochbohrung in einer Ecke. Mit einem Stahlstempel und Hammer wurden die fünfstelligen Nummern eingehauen.

Tabelle 3, Liste der Beinpräparate sortiert nach Serie und Seite

Pferd	Links	Rechts	Pferd	Links	Rechts
Serie 1			Serie 4		
1	74170	41122	20	75527	77552
2	90501	64011	31	61454	49555
3	71033	71433	32	55223	77527
4	10244	37552	33	46555	88995
5	92427	26990	34	22583	22883
Serie 2			35	11773	22585
6	76015	35796	36	17730	17733
7	51705	52324	37	44996	17300
8	72435	96307	38	33011	33001
9	35472	79644	39	52317	30011
10	30112	37345	40	61855	30114
11	77440	53770	41	61445	61145
12	37100	19704	42	61114	52331
13	31003	72637	43	55233	52233
14	54337	39724	44	33300	49901
15	82074	56204	45	49011	75273
16	30569	20055	46	44900	25830
17	36920	47122	47	11733	25850
18	29377	69605	48	25835	46655
3. Serie					
19	11855	55522			
20	81400	70411			
21	77408	32007			
22	98477	79693			
23	62514	32699			
24	84195	25112			
25	73544	38342			
26	34309	44903			
27	63274	40013			
28	99421	53004			
29	45504	71006			



Abbildung 8: Links: vorbereiteter Huf vor der Ausschmierung mit Fassdichte; rechts: sortierte Beine mit Marker

### **5.3 Anfertigen der Röntgenbilder**

#### **5.3.1 Oxspringaufnahmen**

Die nach Tabelle 6 sortierten Beine wurden jetzt immer in der gleichen Reihenfolge geröntgt. Als erstes wurde die Oxspringaufnahme angefertigt. Es wurde ein handelsüblicher Oxspringklotz verwendet. Der Röntgenstrahler wurde auf Holzelementen gelagert und genau parallel zum Boden auf 1-2cm proximal vom Hufsaum ausgerichtet. Der Detektor-Fokus-Abstand wurde mit einem Zollstock ausgemessen und betrug 85cm. Der Röntgendetektor wurde in die Halterung des Oxspringklotzes eingefügt.

Dabei wurde darauf geachtet, dass der Detektor immer von der richtigen Seite eingespannt war und somit wurde er nach dem alle linken Beine geröntgt wurden, für die rechten Beine einmal gedreht. Das Kabel zeigte so, wie bei Aufnahmen an lebenden Pferden, immer nach lateral. So wurde gewährleistet, dass die Marker des RIS-Programmes richtig platziert wurden. Das wurde in der ersten Serie durch Links-Rechts-Marker aus Metall zusätzlich überprüft. Diese wurden in den folgenden Serien weggelassen.

Die Nummerierungsmarker wurden ebenfalls in den Oxspringklotz eingelegt. Da diese aus Aluminium sind, können diese nur bei sehr starker Bildbearbeitung erkannt werden. Der Röntgenstrahler wurde mit der kabelgebundenen Fernbedienung hinter einer Schutzwand ausgelöst. Die Belichtungswerte waren bei der Oxspringaufnahme 66KV Röhrenspannung und 0,12 Sekunden Belichtungszeit (3 mAs). Der Zentralstrahl wurde auf das zu untersuchende Bein eingeblendet. Auf eine reine Fokussierung des Strahlbeines wurde verzichtet. Diese Fokussierung hätte zu einer besseren Darstellung des Strahlbeines durch Vermeidung von Streustrahlen geführt. In der Praxis werden jedoch im RÖLF Oxspringaufnahmen mit vollständigem Blick auf alle benachbarten Strukturen gefordert.

#### **5.3.2 Skylineaufnahmen**

Nach den Oxspringaufnahmen wurden in gleicher Weise die Skylineaufnahmen aufgenommen. Der Röntgendetektor wurde in einen handelsüblichen Skylinetunnel eingelegt. Wie bei der Oxspringaufnahme wurde die korrekte Seitenausrichtung des Detektors beachtet. Der Röntgenstrahler wurde in ein normales Stativ aufgehängt und im Winkel von 55° auf den Detektor ausgerichtet. Dieses Stativ wäre für ein lebendes Pferd nicht geeignet. Bei der

Skylineaufnahme wurden 66KV Röhrenspannung und 0,10 Sekunden Belichtungszeit(2,5 mAs) gewählt.

### 5.3.3 Kontrastmittelapplikation

Es wurde für die Kontrastmittelapplikation eine Spinalkanüle mit den Maßen 0,9\*90mm der Firma BD® verwendet. Die Applikationsroute wurde wie unter 2.6.2 beschrieben gewählt. Auf eine Reinigung der Einstichstelle wurde verzichtet. Die Nadel wurde bis zu einem typischen Widerstand geschoben, der durch die Facies flexoria des Strahlbeins gebildet wurde.

Danach wurde eine laterale Kontrollaufnahme angefertigt. Dabei wurde die Gliedmaße direkt auf den Skylinetunnel gelegt. Bei erfolgreicher Platzierung der Nadel, wurden in jedes Bein mit mittlerem Kraftaufwand 3ml Kontrastmittel appliziert.

Das Kontrastmittel war Imeron® MCT 400 mit dem Wirkstoff Iomeprol der Firma Altana Pharma AG®. Anschließend wurde noch einmal eine Kontrollaufnahme angefertigt. Die entsprechenden Aufnahmen sind in Abbildung 10 abgebildet. Dieser Vorgang wurde für alle Beine nacheinander durchgeführt. Anschließend wurden im gleichen Verfahren, wie oben beschrieben, die zwei Projektionen angefertigt. Die Abbildung 9 zeigt die verwendeten Utensilien für die Kontrastmittelapplikation.

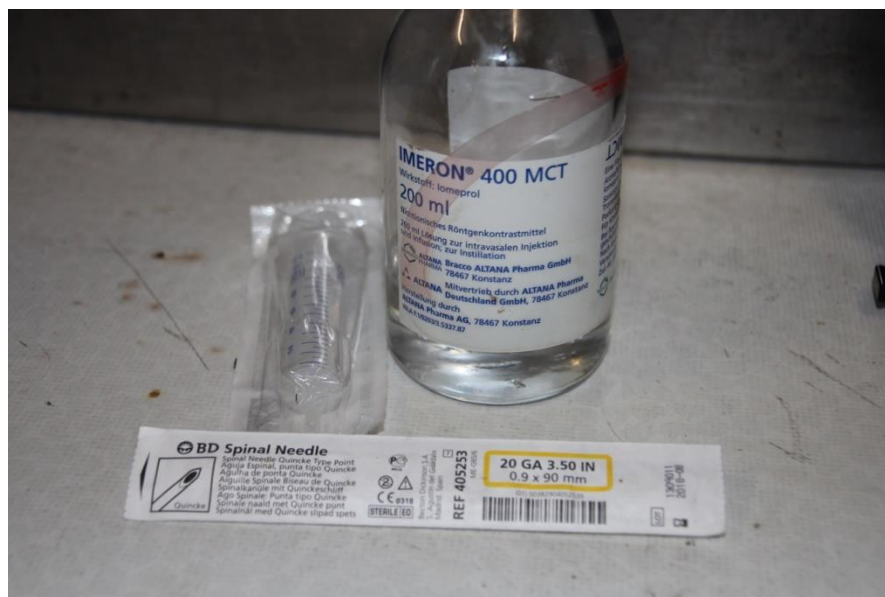
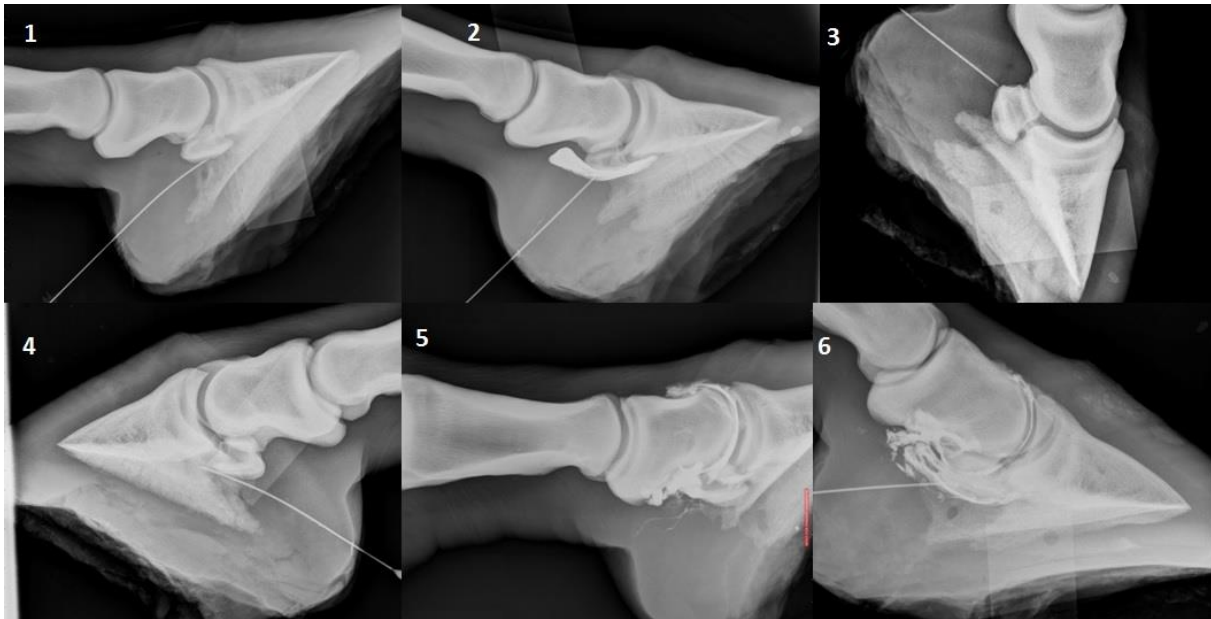


Abbildung 9: 5 ml Einmalspritze, Spinalkanüle und Kontrastmittel für die Bursographie



**Abbildung 10: Kontrastmittellapplikation; 1 korrekte Platzierung der Nadel; 2 Erfolgskontrolle; 3 und 4 unsichere Platzierung der Nadel; 5 und 6 Kontrollaufnahme nach Fehlpunktion des Hufgelenkes;**

### 5.3.4 Röntgenstrahler

Für diese Arbeit wurde ein handelsüblicher Röntgenstrahler der Firma Gierth® verwendet. Es kam das Modell TR 90/30 zum Einsatz. Tabelle 4 zeigt die technischen Daten.

**Tabelle 4: Technische Daten Gierth TR 90/30**

Inverterfrequenz:	100 kHz
Nennleistung:	1,8 kVA
Output in 2 – kV - Stufen:	40 – 60 kV = 30 mA (max.)
	62 – 70 kV = 25 mA (max.)
	72 – 80 kV = 20 mA (max.)
	82 – 90 kV = 15 mA (max.)
Röntgenröhre:	XDT – F90
Fokus:	0,8 mm x 0,8 mm
Gewicht:	6,5 kg inklusive Kollimator
Maße L x B x H:	300 mm x 188 mm x 172 mm
Gesamtfilterung:	2,7 mm Al

### 5.3.5 Röntgensystem

Für diese Arbeit wurde das Röntgensystem Mark 3 von Eklin® (Sound\_Eklin) benutzt. Das System besteht aus einem 17“ Touchscreen, Rechner und Detektorplatte. Auf dem System ist die Scriptingsoftware RapidFire installiert. Mit dieser Software werden die Patientendaten

und Aufnahmemodalitäten, wie sie von DICOM) gefordert werden, eingegeben. Das System ist selbst ein vollständiger (Mini) PACS. Als PACS kompatible Betrachtungssoftware ist noch eFilm installiert.

**Tabelle 5: Technische Daten Sound Eklin**

<b>Typ:</b>	CXDI-60G direct capture digital x-ray
<b>Bild Bereich</b>	23cm x 28cm (9"x11")
<b>Pixel Pitch</b>	160x160 microns
<b>Pixel Array</b>	1464x1776 pixels (2.6 million) pixels
<b>Graustufen</b>	12 bit (4,096 levels)
<b>Dimension</b>	35.6 cm (14") weit x 38.1 cm (15") hoch x 2.3 cm (0.9") tief
<b>Gewicht</b>	5.9 lbs (2.7 kg)

Vor Beginn jeder Serie wurden im RapidFire Feld Name immer „Staufenbiel“ eingegeben. Im Feld ID wurde der Name der Studie eingetragen. Dabei gibt es Oxspring, Skyline, Kontrastapplikation, SkylineKontrast und OxspringKontrast. Es wurden vier verschiedene Serien angefertigt und die Serienzahl immer hinter den Namen der Aufnahme gestellt (z.B. Skyline2). Die Felder Sex und Birth wurden leer gelassen. Als Study Information wurde der einprogrammierte Modus AKU verwendet. Als Arzt wurde ein eingespeicherter Tierarzt der Klinik eingetragen.

Bei den Aufnahmen wurden dann die spezifischen Aufnahmeeinstellungen angewählt. Bei der Kontrastapplikation wurde das Autoskripting aktiviert und so stimmen bei diesen Aufnahmen die Richtungsbezeichnungen nicht überein.

Die Aufnahmen wurden dann in einer festgelegten und dokumentierten Reihenfolge angefertigt. So kann z.B. das Bild5 der Studie Oxspring3 eindeutig identifiziert werden. Die Bilder wurden in der Bildvorschau sofort auf korrekte Lagerung kontrolliert.

Am Ende der Studie wurden die Bilder im RapidFire angepasst. Die Belichtung wurde mit dem ROI (Region of interest) angepasst und zugeschnitten. Da die Detektorplatte immer wie bei einer Untersuchung am lebenden Pferd fixiert war, entfiel das nachträgliche Drehen oder Kennzeichnen.



Die Untersuchung wurde dann mit dem Transfer der Bilder auf das Systeminterne PACS abgeschlossen. Später wurden die Bilder auf das Kliniksystem übertragen. Das auf dem System installierte eFilm wurde nicht benutzt. Um die Arbeit aufzuteilen, wurden die Beine in vier Serien eingeteilt. Die Tabelle 6 zeigt die Serien und die genaue Reihenfolge der Beine.

**Tabelle 6: Reihenfolge Röntgenaufnahmen**

Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
74170	53770	70411	75527
90501	19704	79693	61454
71033	35796	32699	55223
10244	52324	38342	46555
92427	96307	25112	22583
41122	72637	71006	11773
64011	69605	53004	44900
71433	39724	44903	11733
37552	56204	40013	25835
26990	20055	32007	49011
	47122	55522	33300
	79644	77408	55233
	37345	11855	61114
	76015	63274	17730
	51705	34309	44996
	31003	73544	33011
	72435	81400	52317
	77440	45504	61455
	37100	62514	61445
	35472	84195	46655
	30112	96477	30011
	54337	99421	25850
	32074		52331
	30569		33001
	36920		61145
	29377		30114
			17300
			52233
			49901
			17733
			22585
			75273
			25830
			22883
			44995
			77527
			49555
			77552

## 5.4 Präparation

Das Hufgelenk wurde von dorsal entlang des Gelenkspaltes geöffnet. Jetzt konnten die proximalen Knochen (Röhrbein, Fesselbein und Kronbein) vorsichtig exartikuliert werden. Das Ergebnis zeigen Abbildung 11 und 12. Somit war die Sicht auf die Facies articularis des Strahl- und Hufbeins sichtbar.

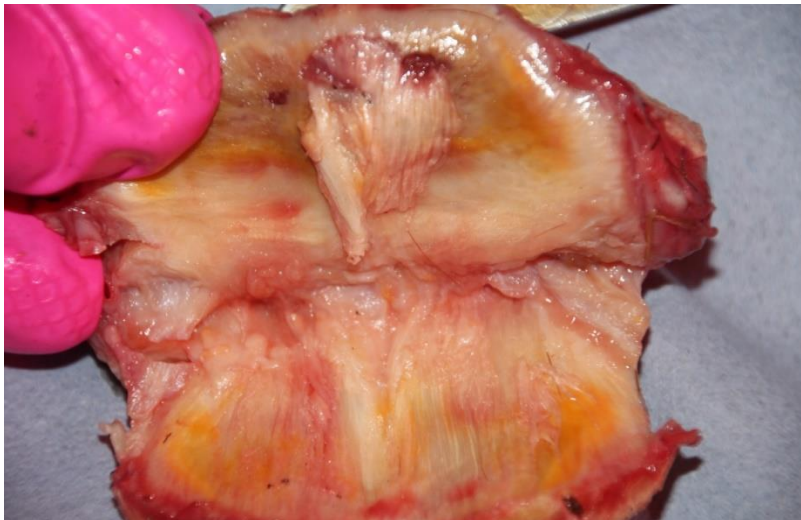
Nun wurden die TBS und das Strahlbein präpariert. Dazu wurde ein Schnitt am distalen Ende der TBS durchgeführt und das distale Sesambeinband ebenfalls durchtrennt. Mit einem seitlich umfahrenden Schnitt wurde dann das Paket aus OSN und TBS herauspräpariert. Dadurch erhielt man ein Präparat aus Anteilen der TBS und dem Strahlbein. Eine Begutachtung und Dokumentation der Facies flexoria des Strahlbeins und Teile der TBS waren nun möglich. Zur Dokumentation wurden Photographien von dem Strahlbein-TBS-Paket angefertigt. Um beide Strukturen zu sehen, wurde das Strahlbein, welches noch über die Sesambeinhaltebänder mit dem verbleibenden Bindegewebe der TBS verbunden war, hoch geklappt. So entstand das typische Bild, wie es in Abbildung 13 zu sehen ist. Auf diesem Bild ist sowohl die Facies flexoria des Strahlbeins als auch die gegenüberliegende Dorsalfläche der TBS gut zu erkennen.



**Abbildung 11: Präparation Ansicht Hufbein und Strahlbein (Facies articularis), oben ist dorsal, links ist lateral**



**Abbildung 12: Präparation Ansicht Gelenkfläche Hufgelenk Kronbein, oben ist dorsal, links ist lateral**



**Abbildung 13: Ansicht Ausschnitt tiefe Beugesehne (im Bild unten) und Facies flexoria Strahlbein, links ist lateral**

## **5.5 Auswertung der Röntgenbilder**

Die Oxspringaufnahmen können gemäß dem Röntgenleitfaden beurteilt werden (Tabelle 7). Für eine gewichtete Auswertung der Oxspringaufnahme und der Skylineaufnahme wurde eine an Dyson (2011) angelehnte und modifizierte Auswertung benutzt. Die Kontrastmittelaufnahmen wurden nach einem modifizierten Schema nach Turner (1998) ausgewertet. Die Befunde und die Bewertung sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die verschiedenen Aufnahmetypen wurden zeitlich getrennt ausgewertet, so dass eine direkte Zuordnung von verschiedenen Aufnahmen für die gleiche Aufnahme nicht möglich war. Neben den in den

Tabellen ausgeführten Befundungskriterien wurde auch immer die technische Qualität beurteilt. Eventuelle Mängel wurden verbal beschrieben.

Als Auswertungsmonitor diente ein Apple Thunderbold Display A 1407 mit 27“ Bildschirmdiagonale und einer Auflösung von 2560 x 1440 Pixeln. Die Helligkeitswerte betragen 375 cd/ m<sup>2</sup> und der Kontrast 1000:1. Dieser Bildschirm stand in einem Raum mit Jalousien. Als Auswertungssoftware diente Osirix MD in der Version 6.5 von Apple. Diese Software ist nach FDA (Food and Drug Administration/ USA) als Medizinprodukt zugelassen. Sie entspricht auch der europäischen Richtlinie 93/42/EWG. Der Bildschirm und der Arbeitsplatz wurden nicht nach DIN 6868-157 zertifiziert.

**Tabelle 7: Kategorisierung nach RöLF**

**Röntgenkl.**

2.1.4 Anzahl der Canales sesamoidales distales im zentralen geraden Teil	<b>I</b>
2.1.5 Lage der Canales proximal	<b>III</b>
2.1.6 Lage der Canales distal – zentral	<b>I</b>
2.1.7 Lage der Canales Übergangsbereich zum schrägen Seitenteil	<b>II – III</b>
2.1.8 Lage der Canales im schrägen Seitenteil	<b>III - IV</b>
2.1.9 Länge der Canales über 1/4 der Strahlbeinbreite	<b>II</b>
2.1.10 Form der Canales schmal, spitz, breit, konisch oder zylindrisch	<b>I - II</b>
2.1.11 Form der Canales kleinkolbig (bis Senfkorngröße)	<b>II - III</b>
2.1.12 Form der Canales großkolbig (Pfefferkorngröße und mehr)	<b>III - IV</b>
2.1.13 Form der Canales verzweigt (Y-förmig)	<b>III - IV</b>
2.1.14 Struktur grobmaschig total	<b>II - III</b>
2.1.15 Struktur grobmaschig partiell	<b>III</b>
2.1.16 Struktur osteoporotisch (Atrophie der Struktur)	<b>II - III</b>
2.1.17 Struktur sklerosiert	<b>III</b>
2.1.18 Struktur zentrale Aufhellung (Zystoider Defekt)	<b>IV</b>
Kontrollaufnahme empfohlen	
2.1.19 Struktur zentrale Aufhellung (Einbruch)	<b>IV</b>
Kontrollaufnahme empfohlen	
2.1.20 Struktur Aufhellungslinien, Deutung als Fraktur, Ossifikationsstörung (Artefakte ausschließen)	<b>IV</b>
Kontrollaufnahme empfohlen	
2.1.21 Kontur - Zubildungen Seitenenden spitz	<b>III</b>
2.1.22 Kontur - Zubildungen proximal	<b>II - III</b>
2.1.23 Kontur - Zubildungen distal am Übergang zum schrägen Seitenteil	<b>II - III</b>
2.1.24 Kontur - Zubildungen isolierte Verschattung am Übergang zum schrägen Seitenteil	<b>II - III</b>

Tabelle 8 Auswertung Röntgenbilder

	Bewertungskriterium	von	bis	0	1	2	3
O1	Kontur	0	3	symmetrisch	kleine Enthesiophyten	isolierte Verschattungen	hgr. Zubildungen
O2	Knochendichte	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
O3	Knochenstruktur	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
O4	Veränderung in den Kanälen	0	3	nicht vorhanden	mehr als 7, ggr. Formv.	"Lollipops", Y-förmig	rundliche Aufhellung
O5	Frakturen, Chips	0	1	nein	ja		
O6	rundliche Aufhellung	0	2	nein	verdacht	deutlich	
S1	Abgrenzung Mark- Rinde	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
S2	Knochendichte	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
S3	Knochenstruktur	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
S4	Struktur zentrale Aufhellung	0	1	nein	ja		
S5	Symmetrie	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
S6	Zubildungen	0	1	nein	ja		
S7	Sehnengleitfläche	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
KO1	Füllung gleichmäßig	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
KO2	Verschattung/ KM-Ansammlung	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung

KO3	Aufhellung/ weniger KM	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
KO4	Struktur	0	3	normal	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
KO5	dorsale Ausbuchtung gleichmäßig	0	1	ja	nein		
SK1	Grenzfläche	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
SK2	Bursa gleichmäßig gefüllt	0	3	der Norm entsprechend	ggr. Abweichung	deutliche Abweichung	hgr. Abweichung
SK3	Stichkanalartefakt	0	1	nein	ja		
Sk4	Symmetrie	0	1	nein	ja		
Sk5	Abbildung "Schwinge"	0	1	nein	ja	verschwommen	hgr. Abweichung
Sk6	drei Linien Sichtbar	0	3	nein	verschwommen	deutliche sichtbar	
Sk7	drei Linien Beurteilung	0	3	n. beurteilbar	durchgängig	ggr. unterbrochen	hgr. unterbrochen



**Abbildung 14: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text**

Die Abbildung 14, 15 und 16 zeigen eine Auswahl an Ausschnitten von Oxspringaufnahmen. Im Text sind die Erläuterungen und die daraufhin getroffene Bewertung.

1: hgr. Zubildungen (O1:3); Knochendichte hgr. verändert und ungleichmäßig (O2:3); Knochenstruktur hgr. verändert (O3:3); rundliche Aufhellung deutlich sichtbar, Kanäle verändert (O4:3); keine Fraktur oder Chips (O5:0); rundliche Aufhellung deutlich sichtbar (O6:2)

2: hgr. Zubildungen (O1:3); Knochendichte hgr. verändert, „fleckig“ (O2:3); Knochenstruktur hgr. verändert (O3:3); veränderte Kanäle und ovale Aufhellung (O4:3); keine Chips/Frakturen (O5:0); rundliche Aufhellungen sichtbar (O6:1)

3: mgr. Zubildungen (O1:2); Knochendichte teilweise osteoporotisch und ungleichmäßig (O2:2); Knochenstruktur grobmaschig und verändert (O3:2); Kanäle deutlich verändert (O4:3); keine Frakturen oder Chips (O5:0) rundliche Aufhellung (O6:1)



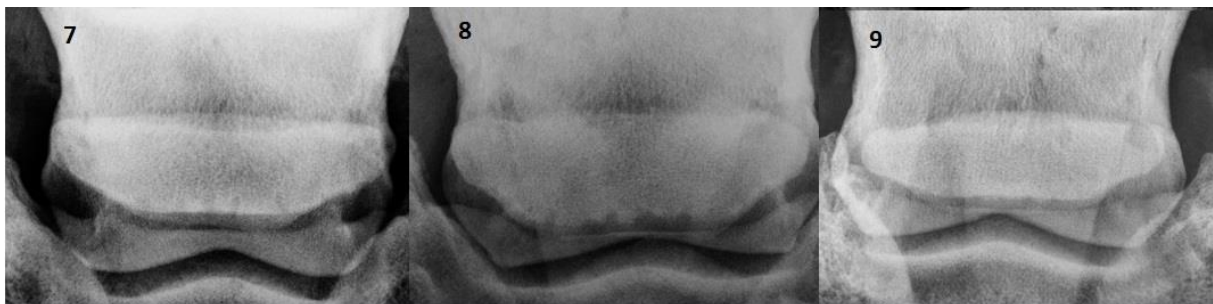


**Abbildung 15: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text**

4: ggr. Zubildungen (O1:1); Knochendichte mgr. osteoporotisch (O2:2); Knochenstruktur grobmaschig und ggr. verändert (O3:1); Knochenkanäle ggr. verändert (O4:1); keine Frakturen, Chips und rundliche Aufhellungen (O5-6:0)

5: ggr. Zubildungen (O1:1); Knochendichte der Norm entsprechend (O2:0); Knochenstruktur grobmaschig (O3:1); Knochenkanäle verändert, zwei „Lollipops“ (O4:2); Frakturen, Chips und rundliche Aufhellungen (O5-6:0)

6: ggr. Zubildungen (O1:1); Knochendichte ggr. verändert und ungleichmäßig (O2:1); Knochenstruktur grobmaschig (O3:1); Kanäle ggr. in der Form verändert (O4:1); keine Frakturen, Chips und rundliche Aufhellungen (O5-6:0)



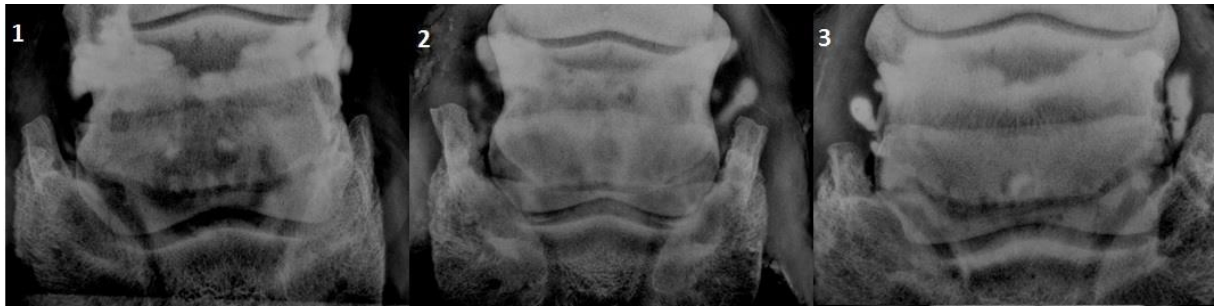
**Abbildung 16: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text**

7: der Norm entsprechendes Strahlbein (O1-6:0)

8: der Norm entsprechendes Strahlbein, Überlagerungsartefakte die eine ungleiche und teilweise vermehrte Dichte vortäuschen, deutliche als physiologisch zu sehende Strahlbeinkanäle (O1-6:0)

9: der Norm entsprechendes Strahlbein mit ggr. Asymmetrie, Überlagerungsartefakte, die eine verminderte Knochendichte vortäuschen könnten (O1-6:0)





**Abbildung 17: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen nach Kontrastmittelapplikation in die Bursa podotrochlearis, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text**

Die Abbildung 17, 18 und 19 zeigen eine Auswahl an Ausschnitten von Oxspringaufnahmen mit Kontrastmittel. Im Text sind die Erläuterungen und die daraufhin getroffene Bewertung.

1: Kontrastmittel sehr ungleichmäßig verteilt (Ok1:3); Kontrastmittelansammlung/ Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:3); Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:3), Struktur hgr. aufgelöst (Ok4:3)

2. Kontrastmittel ungleichmäßig verteilt (Ok1:2); Kontrastmittelansammlung/ Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:2); Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:2), Struktur mgr. aufgelöst (Ok4:2)

3: Kontrastmittel ggr. ungleichmäßig verteilt (Ok1:1); Kontrastmittelansammlung/ Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:3); Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung, sehr klein (Ok3:2), Struktur ggr. aufgelöst (Ok4:1)



**Abbildung 18: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen nach Kontrastmittelapplikation in die Bursa podotrochlearis, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text**

4: Kontrastmittel ggr. ungleichmäßig verteilt (Ok1:1); keine Kontrastmittelansammlung/Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:0); Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:3), Struktur mgr. aufgelöst (Ok4:2)

5: Kontrastmittel sehr ungleichmäßig verteilt (Ok1:3); Kontrastmittelansammlung/Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:3); Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:3), Struktur ggr. verändert (Ok4:1)

6: Kontrastmittel gleichmäßig verteilt (Ok1:1); dezente Kontrastmittelansammlung/Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:1); keine Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:0), Struktur fein (Ok4:0)



**Abbildung 19: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen nach Kontrastmittelapplikation in die Bursa podotrochlearis, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text**

7: Kontrastmittel gleichmäßig verteilt (Ok1:0); keine Kontrastmittelansammlung/Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:0); keine Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:0), Struktur fein (Ok4:0), physiologische Ausbuchtung der Bursa

8: Kontrastmittel gleichmäßig verteilt (Ok1:0); keine Kontrastmittelansammlung/Verschattung auf Höhe der Facies flexoria (Ok2:0); keine Bereiche mit weniger Kontrastmittel/Aufhellung (Ok3:0), Struktur fein (Ok4:0), physiologische Ausbuchtung der Bursa

9: Deutliche Aufhellungen in der Ausbuchtung der Bursa podotrochlearis sichtbar, welche durch Luftblasen in der Bursa entstanden sind



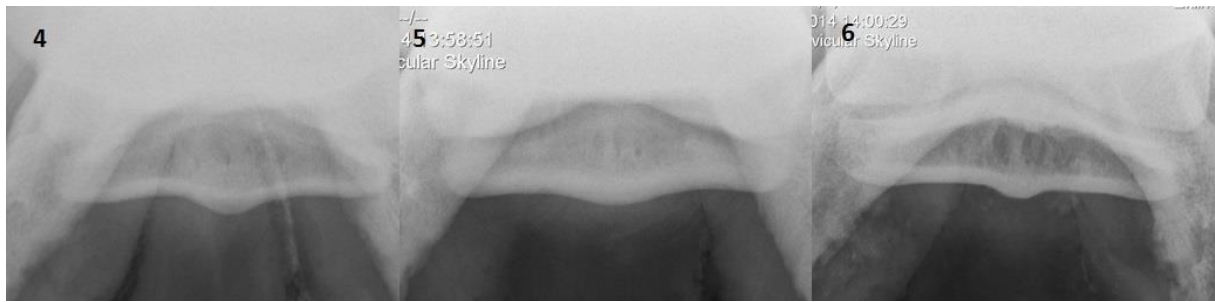
**Abbildung 20: Ausschnitte der Skylineaufnahmen, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text**

Die Abbildung 20, 21 und 22 zeigen eine Auswahl an Ausschnitten von Skylineaufnahmen. Im Text sind die Erläuterungen und die daraufhin getroffene Bewertung.

1: Keine Abgrenzung zwischen Mark und Rinde (S1:3); Knochen hgr. verdichtet/sklerosiert (S2:3); Knochenstruktur völlig aufgelöst (S3:3); zentrale Aufhellung vorhanden (S4:1); symmetrisch und keine Zubildungen (S5-6:0); Sehnengleitfläche (S7:3)

2: Abgrenzung von Mark und Rinde schwer zu erkennen (S1:3); Knochen verdichtet, Erscheinung fleckig (S2:3); Knochenstruktur völlig aufgelöst (S3:3); Zentrale Aufhellung vorhanden (S4:1); symmetrisch und keine Zubildungen (S5-6:0); Sehnengleitfläche zwei mittelgradige Störungen (S7:3)

3: Abgrenzung Mark und Rinde mittelgradig verändert (S1:2); Knochendichte mgr. erhöht (S2:2); Knochenstruktur mgr. Verändert (S3:2); keine zentrale Aufhellung (S4:0); symmetrisch und keine Zubildungen (S5-6:0); Sehnengleitfläche mgr. verändert (S7:2)

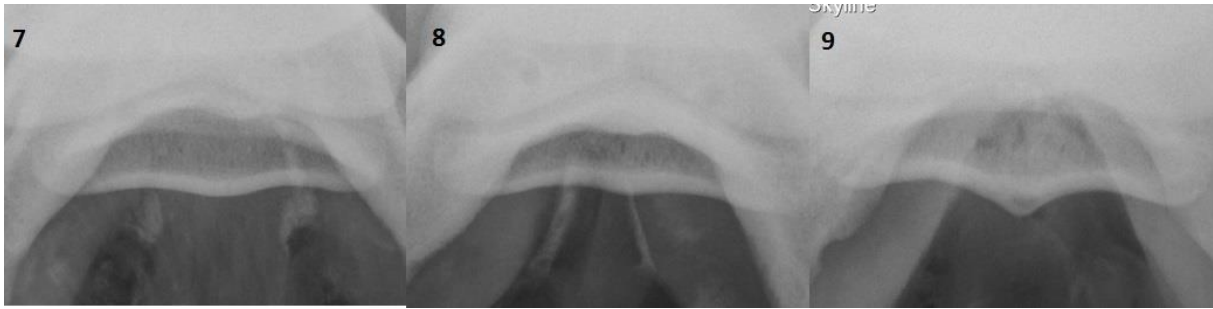


**Abbildung 21: Ausschnitte der Skylineaufnahmen, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text**

4: Abgrenzung Mark und Rinde ggr. verändert (S1:1); Knochendichte ggr. erhöht (S2:1); Knochenstruktur unverändert, ggr. ausgeprägte Kanäle erkennbar (S3:0); keine zentrale Aufhellung (S4:0); symmetrisch und keine Zubildungen (S5-6:0); Sehnengleitfläche unverändert (S7:0)

5: Abgrenzung Mark und Rinde ggr. verändert (S1:1); Knochendichte mgr. erhöht (S2:2); Knochenstruktur ggr. verändert, ggr. ausgeprägte Kanäle erkennbar (S3:0); keine zentrale Aufhellung (S4:0); symmetrisch und keine Zubildungen (S5-6:0); Sehnengleitfläche unverändert (S7:0)

6: Abgrenzung Mark und Rinde nicht verändert (S1:0); Knochendichte unverändert (S2:0); Knochenstruktur mgr. verändert, stark ausgeprägte Kanäle erkennbar (S3:2); zentrale Aufhellung (S4:1); symmetrisch und keine Zubildungen (S5-6:0); Sehnengleitfläche unverändert (S7:0)

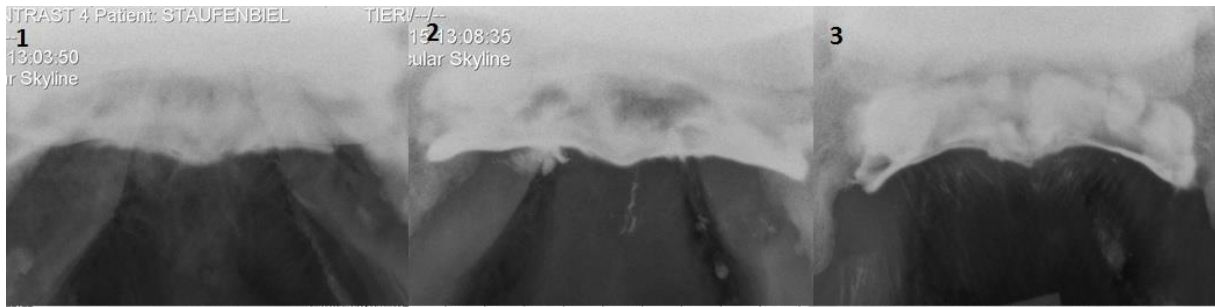


**Abbildung 22: Ausschnitte der Skylineaufnahmen, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text**

7: röntgenologisch unauffälliges Strahlbein, Artefakte durch die Hufseitenstrahlen und die Kantenanhebung am Hufbeinast

8: röntgenologisch unauffälliges Strahlbein, Artefakte durch Hufseitenstrahlen, die eine Veränderung an der Sehnengleitfläche vortäuschen

9: röntgenologisch unauffälliges Strahlbein, Artefakte durch die Hufseitenstrahlen, deutlich sichtbare „halbmondförmige“ scharf begrenzte Verschattung, die als physiologisch zu sehen ist



**Abbildung 23: Ausschnitte von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittelfüllung der Bursa podotrochlearis, Beschreibungen der Bilder 1 bis 3 im Text**

Die Abbildung 23, 24 und 25 zeigen eine Auswahl an Ausschnitten von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittel. Im Text sind die Erläuterungen und die daraufhin getroffene Bewertung.

1: Grenzfläche (des Kontrastmittels) mgr. aufgeraut (Sk1:2); Bursa ungleichmäßig gefüllt (Sk2:2); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); ggr. unsymmetrisch (Sk4:1); Form platt (Sk:2)

2: Grenzfläche hgr. aufgeraut, deutlicher Einbruch an der TBS (Sk1:3); Bursa ungleichmäßig gefüllt (Sk2:3); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); ggr. unsymmetrisch (Sk4:1); Form abgeplattet (Sk:1)

3: Grenzfläche mgr. aufgeraut (Sk1:2); Bursa ungleichmäßig gefüllt (Sk2:2); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); ggr. unsymmetrische (Sk4:2); Form „Schwinge“ (Sk:0)



**Abbildung 24: Ausschnitte von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittelfüllung der Bursa podotrochlearis, Beschreibungen der Bilder 4 bis 6 im Text**

4: Grenzfläche mgr. aufgeraut (Sk1:2); Bursa ungleichmäßig gefüllt (Sk2:2); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); ggr. unsymmetrisch (Sk4:1); Form platt (Sk5:2)

5: Grenzfläche ggr. aufgeraut (Sk1:1); Bursa ggr. ungleichmäßig gefüllt (Sk2:1); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); ggr. unsymmetrisch (Sk4:1); Form ggr. abgeplattet (Sk:1)

6: Grenzfläche mgr. aufgeraut (Sk1:2); Bursa mgr. ungleichmäßig gefüllt (Sk2:2); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); ggr. unsymmetrisch (Sk4:1); Form ggr. abgeplattet (Sk:1)





**Abbildung 25: Ausschnitte von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittelfüllung der Bursa podotrochlearis, Beschreibungen der Bilder 7 bis 9 im Text**

7: Grenzfläche glatt (Sk1:0); Bursa gleichmäßig gefüllt (Sk2:0); Strichkanalartefakt nicht vorhanden (Sk3:0); symmetrisch (Sk4:0); Form „Schwinge“ (Sk:0), Projektionswinkel nicht ideal

8: Grenzfläche glatt (Sk1:0); Bursa gleichmäßig gefüllt (Sk2:0); Strichkanalartefakt vorhanden (Sk3:1); symmetrisch (Sk4:0); Form „Schwinge“ (Sk:0); deutliche kontrastmittelfreie Zone

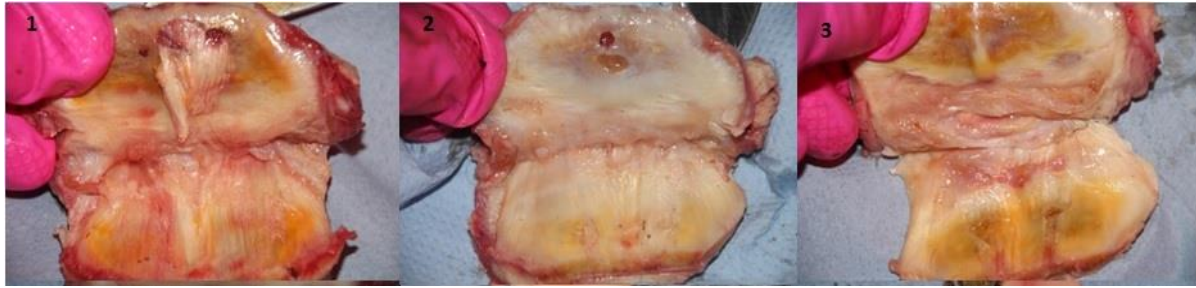
9: Grenzfläche glatt (Sk1:0); Bursa gleichmäßig gefüllt (Sk2:0); Strichkanalartefakt vorhanden (Sk3:1); symmetrisch (Sk4:0); Form „Schwinge“ (Sk:0); deutliche kontrastmittelfreie Zone

## 5.6 Auswertung der Präparationen

Tabelle 9: Auswertung der Präparation

	Anatomische Stelle	von	bis	0	1	2	3
A1	C2 Knorpel median-palmar	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A2	C2 Knorpel lateral	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A3	C2 Knorpel medial	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A4	C2 Knorpel Gesamtwertung	0	3	dick, glasig, weiß	verdünnt, verfärbt	diffus ggr. aufgeraut	diffus aufgeraut
A5	C3 Knorpel lateral	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A6	C3 Knorpel medial	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A7	C3 Knorpel Gesamt	0	3	dick, glasig, weiß	verdünnt, verfärbt	diffus ggr. aufgeraut	diffus aufgeraut
A8	Hufgelenk Gesamtwertung	0	3	nicht verändert	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A9	Summe Hufgelenk						
A10	OSN Knorpel	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A11	OSN Knorpelverdünnung	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A12	OSN Knorpelverfärbung	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A13	OSN Knorpel Gesamtwertung	0	3	glatt, dick,	verdünnt, verfärbt	ggr. Defekte	Knocheneinbrüche
A14	TBS Oberfläche	0	3	glatt	ggr. aufgefaser	mgr. aufgefaser	hgr. aufgefaser
A15	TBS Verwachsung	0	3	nein	ggr. verklebt	hgr. verklebt	verwachsen
A16	TBS Verfärbung	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A17	TBS Metaplasie	0	3	nicht vorhanden	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A18	Summe TBS und OSN	0	3	unverändert	ggr. verändert	mgr. verändert	hgr. verändert
A19	Eindellung im Ridge	0	1	ja	nein		

### 5.6.1 Präparation der Facies flexoria und der tiefen Beugesehne



**Abbildung 26: Präparation des Strahlbeins (oben im Bild ist der Margo distalis des Strahlbeins) und der tiefen Beugesehne, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text**

In den Abbildungen 26 bis 28 sind beispielhaft Präparate ausgewertet. In den Bildern aus Abbildung 26 bis 28 ist im oberen Bereich die Facies flexoria des Strahlbeins und im unteren Teil die Dorsalfläche der TBS zu erkennen. Durch diese Präparation ist das distale Ende der TBS unten und das distale Ende des Strahlbeins oben :

1: OSN Knorpel hgr. verändert, Knocheneinbruch (A9:3); OSN Knorpel hgr. verdünnt (A12:3); Knorpel hgr. verfärbt (A13:3); OSN Knorpel Gesamtwertung (A14:3), TBS Oberfläche hgr. aufgefasert (A15:3); TBS mit OSN verwachsen (A16:3); TBS hgr. verfärbt (A17:3); hgr. Metaplasie (A18:3); Hufrolle gesamt hochgradig verändert (A19:3)

2: OSN Knorpel hgr. verändert, Knocheneinbruch (A9:3); Knorpel mgr. verdünnt (A12:2); Knorpel ggr. verfärbt (A13:1); OSN Knorpel Gesamtwertung (A14:3); TBS mgr. aufgefasert (A15:2); TBS nicht verklebt (A16:0); TBS ggr. verfärbt (A17:1); TBS ggr. Metaplasie (A18:1); Hufrolle Gesamterscheinung mgr. verändert (A19:2)

3: OSN Knorpel mgr. verändert (A9:2); Knorpel mgr. großflächig verdünnt (A12:2); Knorpel hgr. verfärbt (A13:3); OSN Knorpel Gesamtwertung (A14:2); TBS hgr. aufgefasert (A15:3), TBS nicht verklebt (A16:0); TBS hgr. verfärbt (A17:3); TBS hgr. Metaplasie (A18:3); Hufrolle Gesamterscheinung mgr. verändert (A19:2)

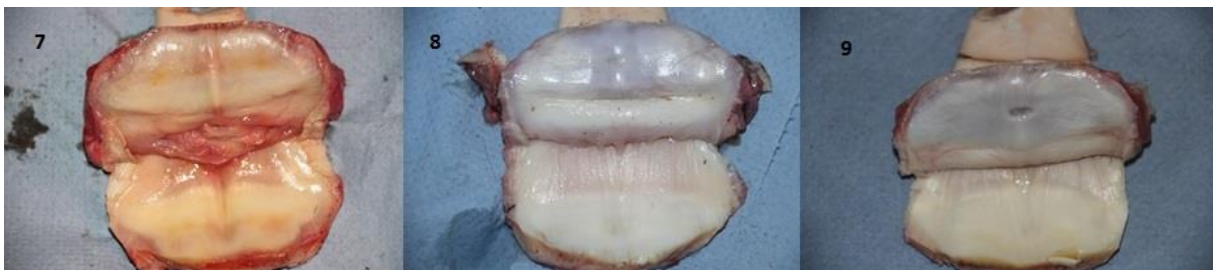


**Abbildung 27: Präparation des Strahlbeins und der TBS**

4: Beispiel für mgr. Aufgefaserter TBS (A15:2)

5: OSN Knorpel ggr. verändert (A9:1); Knorpel zweimal fokal verdünnt (A12:2); Knorpel ggr. verfärbt (A13:1); OSN Knorpel ggr. verändert und atypische Läsion abaxial (A14:2); TBS glatt (A15:0); TBS nicht verklebt (A16:0); TBS ggr. verfärbt (A17:1); TBS ggr. Metaplasie (A18:1); Hufrolle ggr. verändert (A19:1)

6: OSN Knorpel ggr. verändert (A9:1); Knorpel großflächig mgr. verdünnt (A12:2); Knorpel ggr. verfärbt (A13:1); OSN Knorpel ggr. verändert (A14:1) TBS ggr. aufgeraut (A15:1); TBS nicht verklebt (A16:0); TBS mgr. verfärbt (A17:2); TBS mgr. Metaplasie (A18:2); Hufrolle ggr. verändert (A19:1)



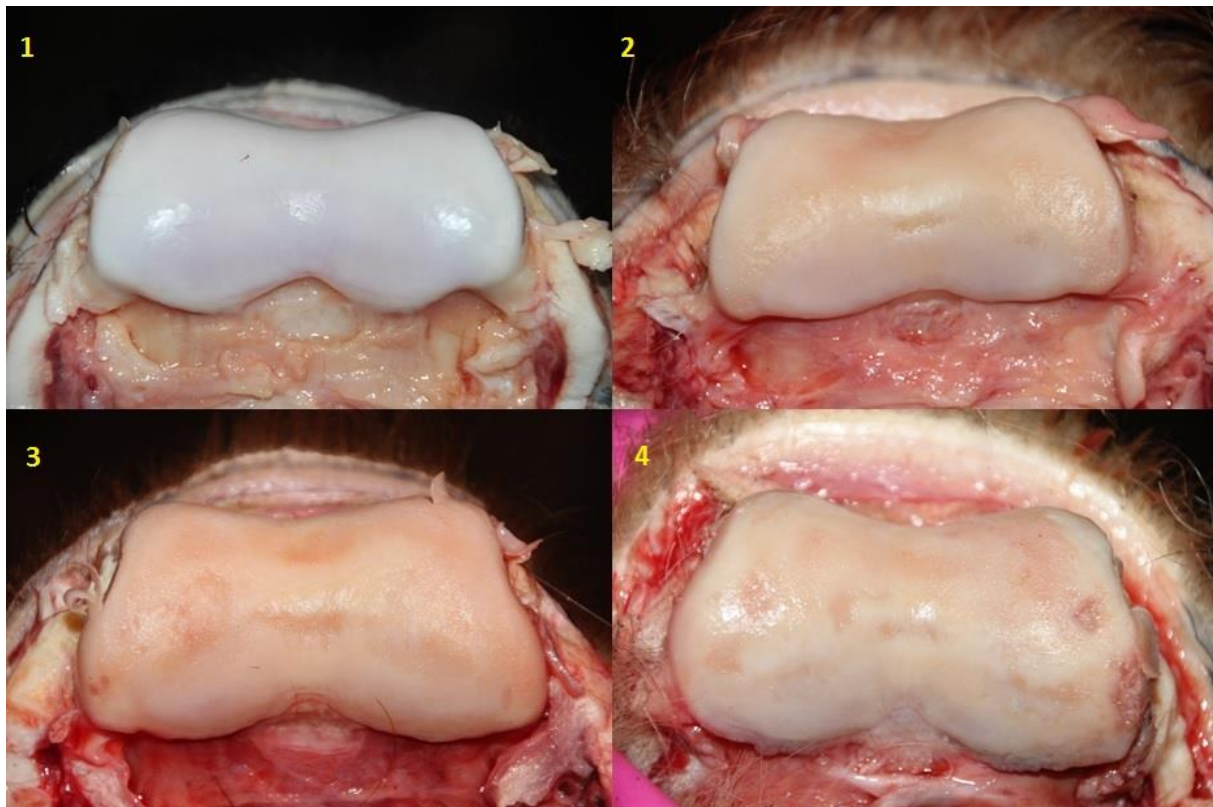
**Abbildung 28: Präparation des Strahlbeins und der TBS**

7: OSN Knorpel ggr. verändert (A9:1); Knorpel ggr. verdünnt (A12:1); Knorpel ggr. verfärbt (A13:1); Knorpel ggr. verändert (A14:1); TBS glatt (A15:0); TBS nicht verklebt (A16:0); TBS ggr. verfärbt (A17:1); TBS ggr. Metaplasie (A18:1); Hufrolle ggr. verändert

8: Makroskopisch unverändertes OSN und TBS, ggr. physiologische Eindellung im Sagittalkamm des OSN (A20:1)

9: Makroskopisch unveränderte OSN und TBS, sehr ausgeprägte physiologische Eindellung im Sagittalkamm des OSN (A20:1)

### 5.6.2 Präparation des Kronbeins



**Abbildung 29: Kronbeingelenkfläche zum Hufgelenk (Auszug), Beschreibung im Text**

Die Abbildung 29 zeigt Präparationen vom Hufgelenk aus der Ansicht von distal (kaudal). Diese Präparationen wurden wie folgt bewertet:

1: unveränderter Knorpel

2: median, lateral und medial ggr. aufgeraut (A1-3:1); Knorpelgesamt ggr. verändert (A4:1)

3: median Knorpel ggr. verändert (A1:1); medial und lateral mgr. verändert (A2-3:2); Knorpelgesamtwertung mgr. verändert (A4:2)

4: median Knorpel ggr. verändert (A1:2); medial und lateral Knorpel hgr. verändert (A2-3:3); Knorpelgesamtwertung hgr. verändert (A4:3)



### 5.6.3 Präparation der Facies articularis und des Hufbeins



**Abbildung 30: Hufbein und Strahlbein, Ansicht von proximal (Auszug), Beschreibung im Text**

Beispielhafte Auswertung der makroskopischen Bilder der Präparation aus Abbildung 30.

1: gesunder Knorpel (A7:0)

2: ggr. veränderter Knorpel, verdünnt, ggr. aufgeraut, ggr. verfärbt (A7:1)

3: mgr. veränderter Knorpel, großflächig verdünnt, mgr. aufgeraut, mgr. verfärbt (A7:2)

4: hgr. veränderter Knorpel, großflächig verdünnt, hgr. aufgeraut, hgr. verfärbt (A7:3)

### 5.7 Auswertungsroutine

Wie oben beschrieben, wurden die Befunde eingeteilt. Dabei war obB: 0 Punkte, ggr. verändert einen Punkt, mgr. Verändert zwei Punkte und hgr. Verändert drei Punkte. Befunde die entweder vorhanden waren oder nicht erhielten null Punkte für nicht vorhanden oder einen Punkt für vorhanden. Eine Ausnahme stellte die rundliche Aufhellung in der

Oxspringaufnahme da. Diese Veränderung wurde, wenn man sie angedeutet gesehen hat, mit 1 Punkt und bei deutlicher Sichtbarkeit wurden 2 Punkte vergeben.

Die Kategorien nach dem RÖLF wurden mit 0 für nicht vorhanden und 1 bei Vorhandensein bewertet. Die Gesamtbewertung war dann immer der schlechteste Befund. Bei Befunden die mit zwei Werten angegeben waren, wurde der Mittelwert genommen.

Die Summation von verschiedenen Werten ist sinnvoll, um ein Scoring zu erstellen. Dieses Verfahren ergibt sich daraus, dass Pferde mit ND meist mehrere radiologische Befunde aufweisen (Seyrek-Intas, Tellhelm et al. 1999, Coomer, Thomas et al. 2013).

Die Faktoren geben die Gewichtung einzelner Befunde an bzw. dienen dazu, Befunde die mit null oder eins bewertet wurden, entsprechend anzupassen.

Formel für Oxspringgesamtwertung:  $O1+O2+O3+O4+O6*4$

Die Befunde O 1 bis 4 sind allgemein anerkannt (Dyson 2011). Das der Befund O6 einen Faktor von 4 erhält, begründet sich durch die außerordentlich große klinische Bedeutung von rundlichen Aufhellungsbereichen, den sogenannten zystoiden Defekten (cyste like lesions). Da in einigen Fällen die Aufhellungsbezirke eher undeutlich und in anderen sehr deutlich zu sehen waren, wurde die Unterteilung in undeutlich und deutlich vorgenommen

Formel für Skylinegesamtauswertung:  $S1+S2+S3+ S4*4+S7*2$

Der Faktor für den Wert S4 ergibt sich aus derselben Begründung wie bei der Oxspringaufnahme. Der Faktor für S7 trägt den besonderen Wert der Sehnengleitfläche bei. So sind „große Aufhellungsbereiche im Rindenknochen der Sehnengleitfläche unbestreitbar klinisch relevant“ (Dyson 2011). Die Sehnengleitfläche kann nur in dieser Aufnahmerichtung beurteilt werden.

Formel für die Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel:  $KO1+KO2*2+KO3*2+KO4$

Für diese Aufnahme gibt es kaum wissenschaftlich belegte Kriterien. So wird wie in der Arbeit von Würfel und Hertsch (2005) eine Ansammlung von Kontrastmittel als mehr oder weniger isolierte Verschattung ausgewertet. Diese Ansammlung kann nur in einem Knorpeldefekt, Knochendefekt oder Riss der TBS liegen. Dies begründet auch den Faktor 2. Im Umkehrschluss kann an einer Stelle, wo die TBS mit dem OSN verwachsen ist, kein

Kontrastmittel zwischen OSN und TBS sein. Diese Aufhellung wird dann als Verwachsung interpretiert. Dabei sind zwei Punkte zu beachten. Unter einer Verwachsung befindet sich in vielen Fällen, ein tiefer Knorpeldefekt der auch bis zum subchondralen Knochen reichen kann. Der Versuch wurde an isolierten Beinen vorgenommen. Eine physiologische Belastung durch das Körpergewicht fehlte. Ob die Menge an Kontrastmittel zwischen OSN und TBS ausreicht, um bei deren Fehlen auf eine Verwachsung zu schließen, ist auch fraglich.

## **5.8 Statistische Auswertung**

Die erhobenen Werte wurden mit Excel® Version 2010 von Microsoft® erfasst. Die erhobenen Tabellen wurden in SPSS® Version 23 von IBM® exportiert. Die Ergebnisse aus SPSS wurden dann in Excel Tabellen exportiert. Die Graphiken in dieser Arbeit wurden ebenfalls mit SPSS erstellt.

Für die Errechnung der Korrelationen wurde der gewichtete Kappa nach Fleiss berechnet. Dieser hat den Vorteil, dass geringgradige Abweichungen nicht so stark gewichtet werden wie große Abweichungen (Dohoo, Martin et al. 2003).

Bei der Berechnung der Korrelationen der absoluten Punkte für die einzelnen Aufnahmen bzw. für die Hufrolle wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet und der Konkordanz-Korrelations-Koeffizient nach Lin berechnet (Dohoo, Martin et al. 2003).

Bei der Berechnung von Sensitivität, Spezifität und positiven prädiktiven Wert wurden die Klassen vereinfacht. Für die Sensitivität zählten die Röntgenklassen 3 und 4 positiv. Für die Spezifität zählten die Klassen der Hufrolle 1 und 2 als negativ.



## 6. Untersuchungsergebnisse

### 6.1 Deskriptive Statistik

#### 6.1.1 Auswertung Oxspringaufnahme nach RÖLF

Die Röntgenbilder wurden nach dem aktuellen RÖLF beurteilt. Bei der Begutachtung waren nur die Röntgenbilder der entsprechenden Projektion verfügbar. 11 Aufnahmen wurden als technisch nicht optimal eingestuft. Die Tabelle 10 zeigt die absoluten und relativen Häufigkeiten der festgestellten Befunde. Da die Befunde im RÖLF Einzelbefunde sind, kann ein Bein mehrere Befunde nach RÖLF aufweisen.

**Tabelle 10: Häufigkeiten von Befunden nach RÖLF**

	N=96	
Befund nach RÖLF	n	%
2 1 4	81	84,4
2 1 5	3	3,1
2 1 6	80	83,3
2 1 7	38	39,6
2 1 8	10	10,4
2 1 9	16	16,7
2 1 10	74	77,1
2 1 11	21	21,9
2 1 12	11	11,5
2 1 13	7	7,3
2 1 14	14	14,6
2 1 15	11	11,5
2 1 16	23	24
2 1 17	9	9,4
2 1 18	10	10,4
2 1 19	8	8,3
2 1 20	0	0
2 1 21	7	7,3
2 1 22	24	25
2 1 23	7	7,3
2 1 24	6	6,3

### 6.1.2 Auswertung Oxspringaufnahme nach Dyson

Die gleichen Aufnahmen wie aus 4.1.1 wurden auch nach dem angepassten Schema nach Dyson (2010) beurteilt. Tabelle 11 zeigt die Häufigkeiten der Befunde. Dabei wurde das Auswertungsschema aus Tabelle 8 von Seite 68 verwendet.

**Tabelle 11: Häufigkeiten der Befunde in der Oxspringaufnahme nach dem angepassten Schema**

		Bewertung			
Merkmal	N=96	0	1	2	3
O1	n	50	29	13	4
	%	52,1	30,2	13,5	4,2
O2	n	50	20	18	8
	%	52,1	20,8	18,8	8,3
O3	n	50	21	17	8
	%	52,1	21,9	17,7	8,3
O4	n	68	13	10	5
	%	70,8	13,5	10,4	5,2
O5	n	89	5	2	-
	%	92,7	5,2	2,1	-
O6	n	81	7	8	-
	%	84,4	7,3	8,3	-

In Tabelle 12 werden die Bewertungen der technischen Qualität der Aufnahmen aufgeführt. Tabelle 13 zeigt die subjektiv empfundene Qualität der Aufnahmen. Bei dem Wert 0 waren die Aufnahmen sehr gut auswertbar. Bei einer Bewertung von 1 waren geringgradige Mängel vorhanden. In Tabelle 15 sind die wörtlich beschriebenen Mängel, die bei der Begutachtung festgestellt wurden. Dabei ist der Punkt „Dreck“, dass die Aufnahme durch Verschmutzung der Hufe schlechter zu bewerten war. Beim Punkt Kontrast, stellte sich die Strahlbeine mit zu wenig Kontrast da. Bei diesen Aufnahmen wurde zu viel Fassdichte benutzt, um den teils sehr schlechten Zustand der Hufe anzugleichen. Vier Aufnahmen zeigten eine schlechte Projektion des Strahlbeins auf das Kronbein. Dies war einerseits durch zu hohe Trachten oder schrägen Strahlenwinkel bedingt. Trotz sorgfältiger Reinigung und Präparation mit Fassdichte überlagerten in drei Fällen die Strahlfurchen deutlich das Strahlbein.

**Tabelle 12: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen**

Technische Qualität	gut	ggr. Mängel	mgr. Mängel	hgr. Mängel
N=96	0	1	2	3
n	85	7	4	0
%	88,5	7,3	4,2	0

Tabelle 13: Subjektive Beschreibung der Mängel

Mängel	keine	Dreck	Kontrast	Projektion	Strahlfurchen
N	85	2	2	4	3
%	88,5	2,1	2,1	4,3	3,2

### 6.1.3 Auswertung Skylineaufnahmen

Die Auswertung und die Tabellen sind analog zu der Auswertung der Oxspringaufnahmen. Die Häufigkeiten sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Häufigkeiten der Befunde in der Skylineaufnahme nach dem angepassten Schema nach Dyson (2010)

		Bewertung			
Merkmal	N=96	0	1	2	3
S1	n	40	24	22	10
	%	41,7	25	22,9	10,4
S2	n	37	25	26	8
	%	38,5	26	27,1	8,3
S3	n	30	28	29	9
	%	31,3	29,2	30,2	9,4
S4	n	84	12	-	-
	%	87,5	12,5	-	-
S5	n	91	4	1	-
	%	94,8	4,2	1	-
S6	n	90	4	2	-
	%	93,8	4,2	2,1	-
S7	n	57	20	11	8
	%	59,4	20,8	11,5	8,3

Bei den Skylineaufnahmen waren 14 Aufnahmen technisch nicht optimal, wie in Tabelle 15 zu sehen ist. Wie bei der Oxspringaufnahme störte Dreck die Auswertung. Ein wesentlich größerer Anteil der Bilder wies eine schlechte Projektion der Strahlbeine auf. So war das Strahlbein oft durch andere Strukturen verdeckt. In Tabelle 16 werden die Mängel aufgelistet.

**Tabelle 15: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen**

Technische Qualität	Gut	ggr. Mängel	mgr. Mängel	hgr. Mängel
N=96	0	1	2	3
N	82	9	3	2
%	85,4	9,4	3,1	2,1

**Tabelle 16: Subjektive Beschreibung der Mängel**

Mangel	keine	Dreck	Projektion
N	82	2	12
%	85,4	2,1	12,5

#### 6.1.4 Auswertung Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel

Wie die Skyline- und Oxspringaufnahme wurde auch die Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel ausgewertet. Die Tabelle 17 zeigt die Häufigkeiten der Befunde.

**Tabelle 17: Häufigkeiten der Befunde in der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme nach dem modifizierten Schema nach Turner (1998)**

		Bewertung			
	N=96	0	1	2	3
Ok1	n	43	27	18	8
	%	44,8	28,1	18,8	8,3
Ok2	n	48	25	13	10
	%	50,0	26,0	13,5	10,4
Ok3	n	66	7	15	8
	%	68,8	7,3	15,6	8,3
Ok4	n	70	11	6	9
	%	72,9	11,5	6,3	9,4
Ok5	n	93	3	-	-
	%	96,9	3,1	-	-

In der Projektion wurden nur 9,4% der Aufnahmen technisch beanstandet, wie in Tabelle 18 zu sehen ist. Das häufigste Problem waren Luftblasen, die in der Bursa zu sehen waren. Diese Luftblasen sind wahrscheinlich durch die Luft, die in der Spinalkanüle oder durch Luft die in der Applikationspritze war, entstanden. Diese Luft stellte sich als blasige Aufhellungen dar und verhinderte die Beurteilung der proximalen Ausdehnung der Bursa. Die Häufigkeit der Fehler zeigt die Tabelle 19.

**Tabelle 18: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen**

Technische Qualität	Gut	ggr. Mängel	mgr. Mängel	hgr. Mängel
N=96	0	1	2	3
N	87	8	0	1
%	90,6	8,3	0	1,1

**Tabelle 19: Subjektive Beschreibung der Mängel**

Mängel	keine	Hufgelenk	Kontrast	Luftblasen
N	87	1	1	7
%	90,5	1,1	1,1	7,3

### 6.1.5 Auswertung Skylineaufnahme mit Kontrastmittel

Tabelle 20 zeigt die Erhebungen der Befunde analog zu den anderen Aufnahmen.

**Tabelle 20: Häufigkeiten der Befunde der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme nach dem modifizierten Schema nach Turner (1998)**

		Bewertung			
Merkmal	N=96	0	1	2	3
SK1	n	47	25	14	9
	%	49	26	14,6	9,4
SK2	n	46	17	25	7
	%	47,9	17,7	26	7,3
SK3	n	64	31	-	-
	%	66,7	32,3	-	-
SK4	n	26	68	1	-
	%	27,1	70,8	1	-
SK5	n	52	43	-	-
	%	54,2	44,8	-	-
SK6	n	37	38	20	-
	%	38,5	39,6	20,8	-
SK7	n	44	11	30	10
	%	45,8	11,5	31,3	10,4

Während der Auswertung zeigte sich, dass sich die Kontrastmittelaufnahme sehr unterschiedlich darstellte. Diese Unterscheidung zeigte sich im Merkmal Sk6. Bei Beinen, die Sk6 den Wert 0 aufwiesen, konnte die Bursa und die Füllung zwar deutlich erkannt werden,

aber es zeigten sich nicht die typischen „drei Linien“. In diesen Fällen konnte das Merkmal Sk7 nicht erhoben werden. Bei der Definition von SK6 gleich 1 waren die Linien undeutlich zu erkennen. Bei Sk6 gleich 2 waren die Linien gut sichtbar. Wie bei den anderen Aufnahmen zeigen Tabelle 21 und 22 die technischen Mängel, die bei den Aufnahmen erhoben wurden. Der Punkt „Artefakt“ bedeutet, dass sich deutlich Kontrastmittel im Stichkanal angesammelt hatte. Einmal füllte sich das Hufgelenk mit Kontrastmittel. Bei einem weiteren Bein waren Kontrastmittelflecken im Hufbereich vorhanden.

**Tabelle 21: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen**

Technische Qualität	Gut	ggr. Mängel	mgr. Mängel	hgr. Mängel
N=96	0	1	2	3
N	81	11	3	1
%	84,3	11,5	3,1	1,1

**Tabelle 22: Subjektive Beschreibung der Mängel**

Mängel	keine	Artefakt	Hufgelenk	KM Flecken	Projektion
N	82	3	1	1	9
%	85,4	3,1	1	1	9,4

### 6.1.6 Auswertung Präparation

Während der Präparation wurden die folgenden Merkmalshäufigkeiten festgestellt und mit den Photographien nochmals verglichen. Die Häufigkeiten zeigt die Tabelle 23 für das Hufgelenk und die Tabelle 24 für die Hufrolle.

### 6.1.7 Klasseneinteilung

In der Auswertung von Röntgenbildern und Präparationen ist es üblich, Befunde in Klassen einzuteilen. Dabei hat sich die Einteilung in vier Klassen bewährt. Man unterscheidet zwischen unverändert, geringgradig, mittelgradig und hochgradig veränderten Präparaten oder Bildern.

Tabelle 23: Häufigkeiten der makroskopischen Befunde am Hufgelenk

		Bewertung			
Merkmal	N=96	0	1	2	3
A1	n	45	38	13	0
	%	46,9	39,6	13,5	0
A2	n	40	27	22	7
	%	41,7	28,1	22,9	7,3
A3	n	39	32	17	8
	%	40,6	33,3	17,7	8,3
A4	n	36	29	23	8
	%	37,5	30,2	24	8,3
A5	n	44	25	20	7
	%	45,8	26	20,8	7,3
A6	n	46	20	22	8
	%	47,9	20,8	22,9	8,3
A7	n	43	23	22	8
	%	44,8	24	22,9	8,3
A8	n	34	19	32	11
	%	35,4	19,8	33,3	11,5

Tabelle 24: Häufigkeiten der makroskopischen Befunde an der Hufrolle

		Bewertung			
Merkmal	N=96	0	1	2	3
A10	n	42	27	17	10
	%	43,8	28,1	17,7	10,4
A11	n	35	21	22	18
	%	36,5	21,9	22,9	18,8
A12	n	44	23	15	14
	%	45,8	24	15,6	14,6
A13	n	36	27	23	10
	%	37,5	28,1	24	10,4
A14	n	59	10	17	10
	%	61,5	10,4	17,7	10,4
A15	n	84	1	3	8
	%	87,5	1	3,1	8,3
A16	n	39	22	15	20
	%	40,6	22,9	15,6	20,8
A17	n	46	17	14	19
	%	47,9	17,7	14,6	19,8
A19	n	26	70	-	-
	%	27,1	72,9	-	-

### 6.1.8 Röntgenklassen nach RÖLF Oxspringaufnahme

Der Röntgenleitfaden gibt eine genaue Einteilung der Befunde in die Klassen vor. So wurden alle Beine immer nach dem Befund eingeteilt, der die schlechteste Befundung aufwies. Da bei vielen Befunden eine Einteilung in zwei Klassen möglich ist, um dem Tierarzt eine gewisse Interpretation zu ermöglichen, wurden diese als Zwischenklassen eingeteilt. So haben Befunde, die mit einer II bis III eingetragen wurden, immer eine 2,5 erhalten. Die Häufigkeiten sind Tabelle 25 zu entnehmen.

Tabelle 25: Einteilung nach RÖLF

	Gesamtmenge	
Röntgenklasse	n	%
1	25	26
1,5	3	3,1
2	1	1
2,5	38	39,6
3	10	10,4
3,5	9	9,4
4	10	10,4
Gesamt	96	100

### 6.1.9 Einteilung in Gruppen Oxspringaufnahme

Wie im Methodenteil beschrieben, wurde aus den einzelnen Befunden eine modifizierte Summe mit der Formel:  $\text{Gesamtpunkte} = O1 + O2 + O3 + O4 + O6 \cdot 4$  errechnet. Die Beine wurden dann anhand dieser Punkte in Tabelle 26 in Gruppen eingeteilt.

### 6.1.10 Einteilung in Gruppen Skylineaufnahme

Wie für die Oxspringaufnahme wurden auch die Aufnahmen der Skylineaufnahme in Gruppen eingeteilt. Die Formel war dabei:  $\text{Gesamtpunkte} = S1 + S2 + S3 + S4 \cdot 4 + S7 \cdot 2$ . Die Tabelle 27 zeigt diese Einteilung.



### 6.1.11 Einteilung in Gruppen nach Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel

Nach Errechnung der Gesamtpunkte durch die Formel:  $KO1 + KO2 \cdot 2 + KO3 \cdot 2 + KO4$  wurden die Beine wie in Tabelle 28 eingeteilt.

**Tabelle 26: Einteilung der Gruppen nach Summation der Punkte für die Oxspringaufnahme**

	Gesamtmenge	
Gesamtpunkte	n	%
0	29	30,2
1	12	12,5
2	13	13,5
Klasse 1	54	56,3%
3	14	14,6
4	6	6,3
5	2	2,1
Klasse 2	22	22,9%
6	2	2,1
7	1	1
8	2	2,1
9	2	2,1
Klasse 3	7	7,3%
10	1	1
11	3	3,1
13	1	1
14	1	1
16	1	1
17	1	1
18	1	1
19	2	2,1
20	2	2,1
Klasse 4	13	13,5%
Gesamt	96	100

### 6.1.12 Einteilung in Gruppen nach Skylineaufnahme mit Kontrastmittel

Die Einteilung der Skylineaufnahme war etwas komplizierter als die der anderen Aufnahmen. Es konnte nur die Grenzfläche des Kontrastmittels und die gleichmäßige Füllung bei allen Aufnahmen ausgewertet werden. So ergab sich die Einteilung Gesamtpunkte: Formel= $Sk1 \cdot 2 + Sk2$ .

### 6.1.13 Einteilung Hufrolle

Um die makroskopischen Befunde mit den Röntgenbildern besser vergleichen zu können, wurden auch diese in vier Gruppen eingeteilt. Die Formel war: Gesamtpunkte = Summe (A10-A17). Tabelle 30 zeigt die Einteilung der Hufrollenpräparationen.

**Tabelle 27: Einteilung der Gruppen nach Summation der Punkte für die Skylineaufnahme**

	Gesamtmenge	
Gesamtpunkte	n	%
0	18	18,8
1	6	6,3
2	10	10,4
3	8	8,3
Klasse 1	42	43,7%
4	6	6,3
5	8	8,3
6	13	13,5
7	8	8,3
Klasse 2	35	36,5%
8	4	4,2
9	1	1
10	1	1
11	1	1
12	2	2,1
Klasse 3	9	9,4%
13	1	1
14	2	2,1
15	4	4,2
19	3	3,1
Klasse 4	10	10,4%
Gesamt	96	100

### 6.1.14 Applikation des Kontrastmittels

Ein wichtiger Punkt bei der Bursographie ist die Applikation des Kontrastmittels. Dies muss zuverlässig sein, damit die Methode für die Praxis nutzbar ist. Es sind verschiedene Möglichkeiten der Punktion der Bursa beschrieben. Aus der Anzahl der Röntgenaufnahmen kann die Häufigkeit der Korrekturen der Nadeln berechnet werden, da nach jeder Korrektur ein Bild angefertigt wurde. Es wurde grundsätzlich immer eine seitliche Aufnahme vor und nach der Applikation angefertigt.

Die Tabelle 31 zeigt die benötigten Röntgenaufnahmen pro Serie. Der Untersucher hatte in der ersten Serie zum ersten Mal eine Bursa podotrochlearis punktiert. In dieser Serie wurden durchschnittlich 1,4 Korrekturversuche durchgeführt, bevor die Nadel akzeptabel lag. Bei jedem Korrekturversuch kann die TBS erneut durchstochen werden. Außerdem kann die Nadel den Faserknorpel der Facies flexoria schädigen. Bei der letzten Serie wurden nur noch 0,74 Korrekturversuche pro Bein benötigt. Es wurden vom Untersucher insgesamt 96 Hufrollenschleimbeutel punktiert. Bei 4 der 96 Punktionen wurden makroskopische Veränderungen am Knorpel und/oder der TBS sichtbar, die auf die Punktion zurückzuführen waren.

**Tabelle 28: Einteilung der Gruppen nach Summation der Punkte für die Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel**

	Gesamtmenge	
Gesamtpunkte	n	%
0	34	35,4
1	2	2,1
2	9	9,4
Klasse 1	45	46,9%
3	11	11,5
4	2	2,1
5	8	8,3
6	7	7,3
Klasse 2	28	29,2%
7	3	3,1
8	2	2,1
9	1	1
10	4	4,2
Klasse 3	10	10,4%
11	3	3,1
12	2	2,1
14	1	1
15	1	1
16	1	1
18	5	5,2
Klasse 4	13	13,5%
Gesamt	96	100

**Tabelle 29: Einteilung in Gruppen nach Summation der Punkte für die Skyline-Kontrastmittel-Aufnahmen**

Gesamtpunktzahl	Gesamzmenge	%
0	35	36,5
1	7	7,3
Klasse 1	42	44,2%
2	13	13,5
3	6	6,3
Klasse 2	19	20,0%
4	14	14,6
5	2	2,1
Klasse 3	16	16,9%
6	9	9,4
7	2	2,1
9	7	7,3
Klasse 4	18	18,9
Gesamt	95	99

**Tabelle 30: Einteilung in Gruppen nach Summe der Punkte aus der Präparation**

Gesamtpunkte	n	%	
0	22	22,9	Klasse 1
1	9	9,4	39
2	3	3,1	40,60%
3	5	5,2	
Klasse 1	39	40,6	
4	2	2,1	Klasse 2
5	7	7,3	28
6	4	4,2	29,20%
7	4	4,2	
8	6	6,3	
9	2	2,1	
10	3	3,1	
Klasse 2	28	29,2	
11	2	2,1	Klasse 3
12	4	4,2	11
13	2	2,1	11,46%
14	1	1	
15	2	2,1	
Klasse 3	11	11,46	
16	3	3,1	Klasse 4
17	1	1	18
18	2	2,1	18,75%

19	1	1	
20	2	2,1	
21	3	3,1	
23	1	1	
24	5	5,2	
Klasse 4	18	18,75	
Gesamt	96	100	

Tabelle 31: Röntgenauswertung bei der Applikation des Kontrastmittels

Serie	1	2	3	4
Anzahl Beine	10	26	22	38
Gesamtzahl Aufnahmen	34	83	62	104
Anzahl Aufnahmen pro Bein	3,4	3,19	2,82	2,74
Korrekturversuche	14	31	18	28
Korrekturversuche pro Bein	1,4	1,19	0,81	0,74

## 6.2 Vergleich der Gruppen

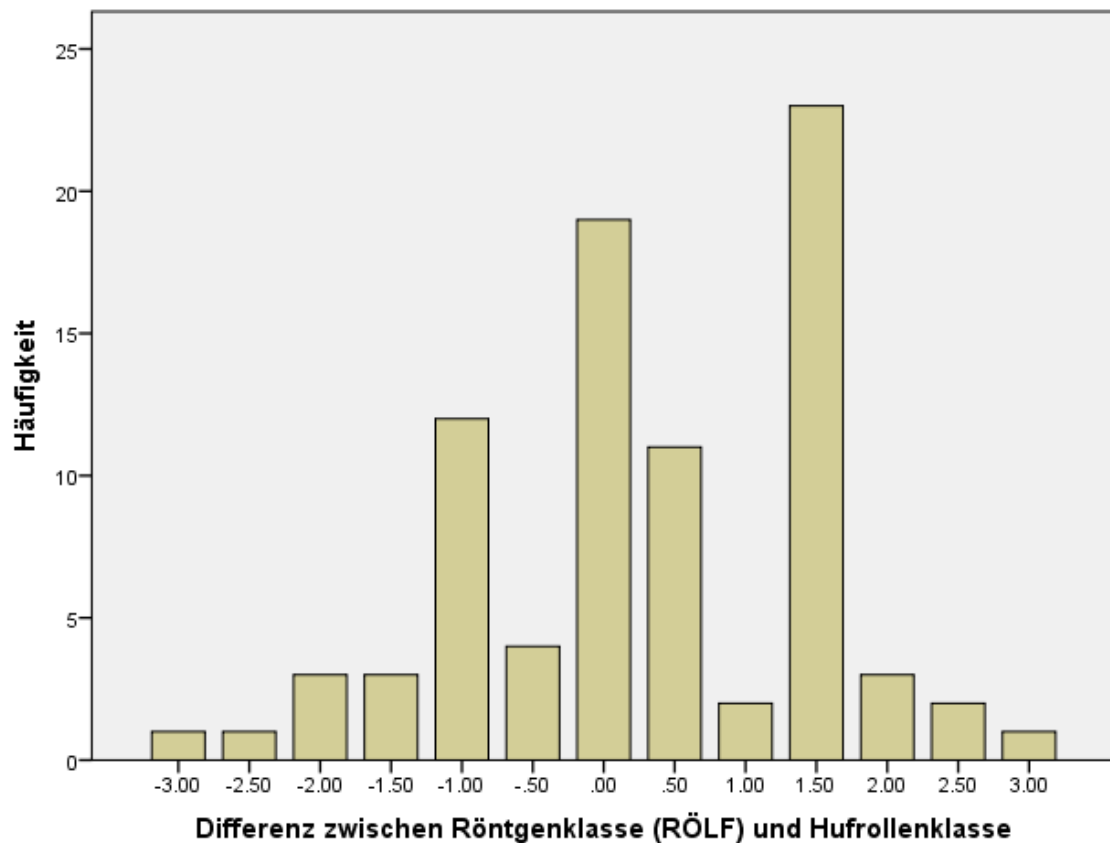
Im ersten Schritt wurden die Differenzen zwischen der Klasse der Röntgenprojektion und der Klasse der Hufrolle gebildet. Diese Differenzen wurden auch graphisch dargestellt. Da die Differenzen durch: (Röntgen-Klasse) – (Hufrolle-Klasse) gebildet wurden, kamen bei schlechterer Hufrollen-Klasse als Röntge-Klasse negative Werte heraus. Deswegen wurde für jede Aufnahme noch ein Betrag gebildet. Anschließend wurden noch die Korrelationen berechnet.

### 6.2.1 Oxspringaufnahme nach RÖLF

Tabelle 32 und 33 und die Abbildung 31 zeigen eine deutliche Abweichung von der Normalverteilung bei dem Wert von 1,5. Dies deutet darauf hin, dass viele Bilder schlechter bewertet wurden, als sich die Hufrolle makroskopisch darstellte. Eine häufige Kombination war der Röntgenbefund 2-3 (2,5) bei unveränderten Hufrollen.

**Tabelle 32: Differenz der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme nach RÖLF abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse**

Differenz	n	%
-3	1	1
-2,5	1	1
-2	4	4,2
-1,5	4	4,2
-1	13	13,5
-0,5	4	4,2
0	20	20,8
0,5	16	16,7
1	2	2,1
1,5	23	24
2	5	5,2
2,5	2	2,1
3	1	1
<b>Gesamt</b>	<b>96</b>	<b>100</b>



**Abbildung 31: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme nach RÖLF abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse**

**Tabelle 33: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme nach RÖLF abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse**

	Alle Aufnahmen	
Betrag der Differenz	n	%
0	20	20,8
0,5	20	20,8
1	15	15,6
1,5	27	28,1
2	9	9,4
2,5	3	3,1
3	2	2,1
Gesamt	96	100

Die durchschnittliche Abweichung betrug im Betrag 1,01. Es wurden 45 (46,9%) Beine auf dem Röntgenbild schlechter beurteilt, als die Präparation. Die durchschnittliche Abweichung bei den als zu schlecht beurteilten Strahlbeinen betrug 0,91. Es wurden dagegen nur 27 (28,1%) Beine auf dem Röntgenbild besser beurteilt, als in der Präparation. Bei diesen Beinen war die Abweichung im Mittel 0,73. Eine Abweichung von +1 Klasse hatten 55 Beine (57,3%). Daraus folgt, dass 10 Beine (10,4%) um mehr als eine Klasse zu gut beurteilt wurden und 31 Beine (32,3%) um mehr als eine Klasse zu schlecht beurteilt wurden.

## 6.2.2 Oxspringaufnahme

**Tabelle 34: Differenz der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse**

	Gesamtsumme	
Differenz	n	%
-3	4	4,2
-2	9	9,4
-1	20	20,8
0	47	49
1	12	12,5
2	3	3,1
3	1	1
Gesamt	96	100

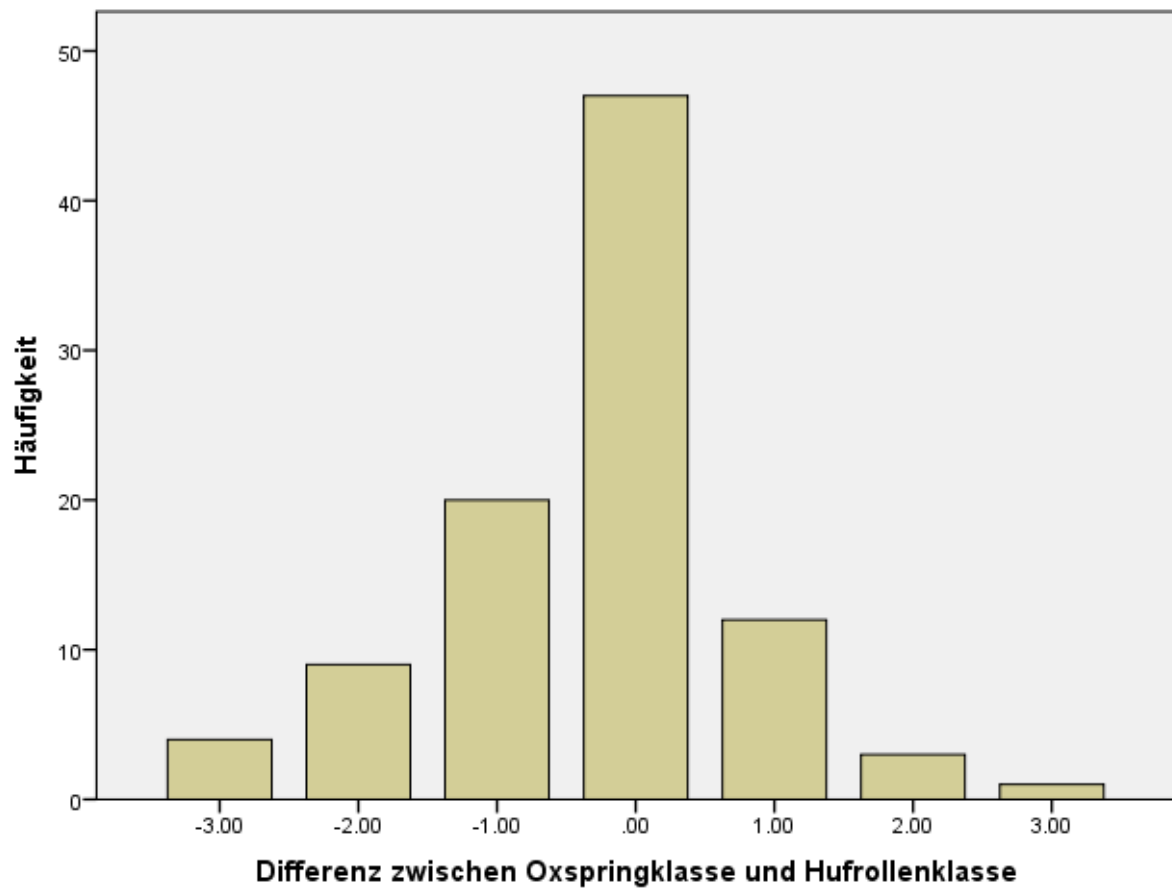


Abbildung 32: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

Tabelle 35: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

	Gesamtsumme	
Differenz	n	%
0	47	49
1	32	33,3
2	12	12,5
3	5	5,2
Gesamt	96	100



Tabelle 34 zeigt, dass 33 (34,4%) Beine besser auf dem Röntgenbild bewertet wurden, als ihre Präparation. Damit war bei diesen Beinen eine Abweichung von (-)0,63 zu ermitteln. Dagegen wurden 16 (16,7%) Beine auf dem Röntgenbild zu schlecht beurteilt. In dieser Gruppe war die durchschnittliche Abweichung 0,33. Die durchschnittliche Abweichung im Betrag zwischen Röntgenklasse und Bewertung der Hufrolle betrug somit 0,74 (Tabelle 35). 79 Beine (82,7%) waren im Rahmen von einer Abweichung von einer Röntgenklasse. Bei 13 Beinen (13,5%) wurde die Oxspringaufnahme um mehr als eine Klasse positiver bewertet, als die Präparation. Bei 4 Beinen (4,2%) wurden die Aufnahmen um mehr als eine Klasse negativer bewertet. Dabei wurde bei 4 (4,2%) Beinen die maximale Differenz von -3 erreicht. Das bedeutet, dass hgr. veränderte Strahlbeine als unverändert auf dem Röntgen beurteilt wurden. Der andere Extremfall von einer Differenz von +3 trat nur einmal auf. Das Ergebnis wird in der Abbildung 32 graphisch dargestellt.

**Tabelle 36: Kreuztabelle/ Heatmap der Klasse der Hufrolle und der Oxspringklasse**

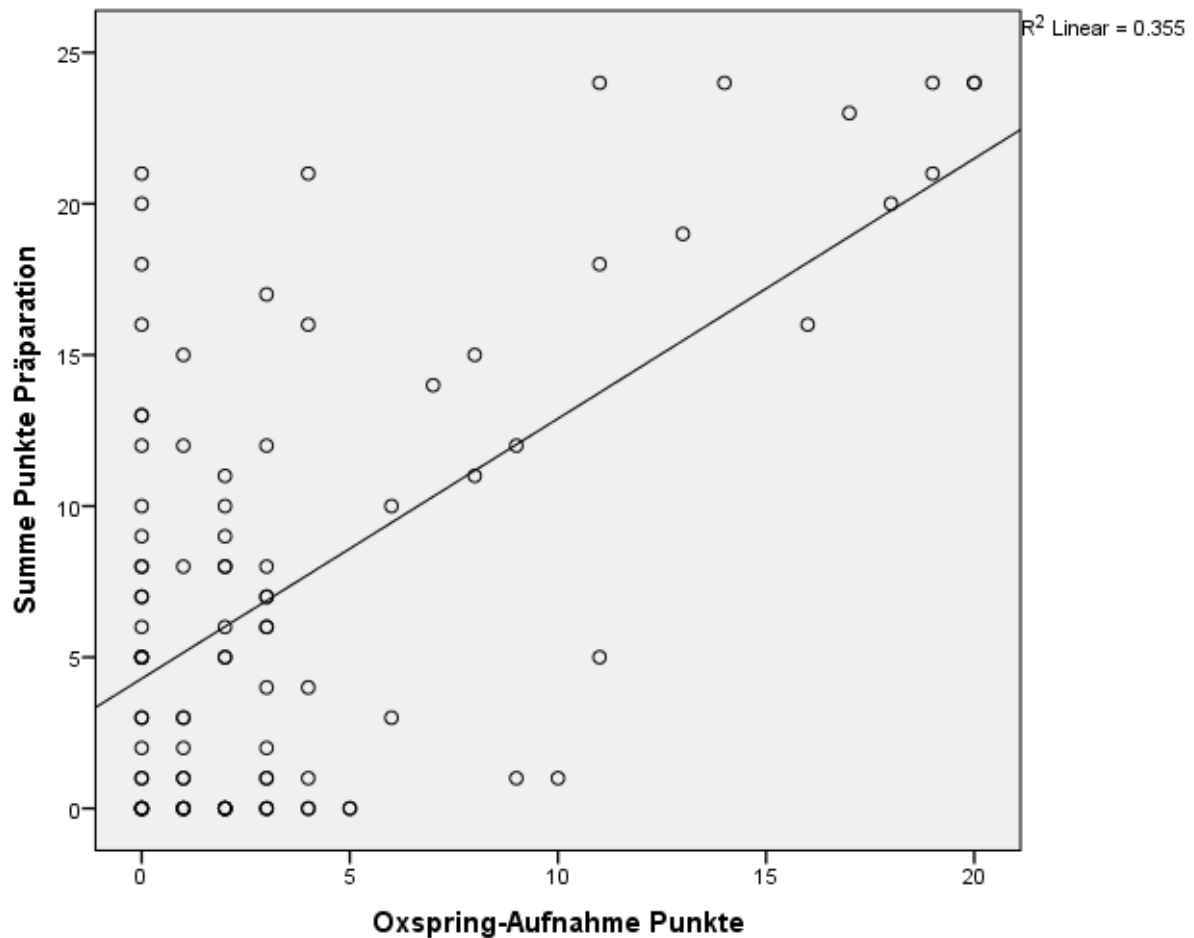
			Klasse Hufrolle				Gesamt
			1	2	3	4	
Oxspringklasse	1	Anzahl	25	19	6	4	54
	2	Anzahl	11	7	1	3	22
	3	Anzahl	2	1	4	0	7
	4	Anzahl	1	1	0	11	13
Gesamt		Anzahl	39	28	11	18	96

Aus Tabelle 36 ergibt sich ein gewichteter Kapa von 0,349. Der positive prädiktive Wert für die Oxspringklasse bei der Bewertung von 4 beträgt 0,846, die Spezifität 97,0% und einer Sensitivität von 61,1% für hochgradige Befunde. Wenn man jedoch auch die Klasse 3 als positiv betrachtet, ergibt sich ein positiver prädiktiver Wert von 0,75, eine Sensitivität von 51,7% für mgr. und hgr. Hufrollenbefunde und eine Spezifität von 92,5%.

**Tabelle 37: Vereinfachte Auswertung nach Oxspring**

		Klasse Hufrolle		Gesamt
		1 und 2	3 und 4	
Oxspringklasse	1 und 2	62	14	76
	3 und 4	5	15	20
Gesamt		67	29	96

Tabelle 37 zeigt die Auswertung nach einem zwei Klassen Schema. Nach dieser Auswertung ergibt sich eine Sensitivität von 51,7% bei einer Spezifität von 92,5% bei einem positivem prädiktiven Wert von 0,75 und einem negativen prädiktivem Wert von 0,816.



**Abbildung 33: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Präparation und der Oxspringaufnahme**

Abbildung 33 zeigt den direkten Zusammenhang zwischen den Punkten der Präparation und den Punkten, die als Gesamtpunktzahl errechnet wurden. Der daraus errechnete Korrelationskoeffizient nach Spearman beträgt 0,281. Der Korrelationskoeffizient nach Lin ist  $r^2=0,355$  und ist signifikant. Die Abbildung 34 zeigt ein Boxplotdiagramm, bei dem den einzelnen Hufrollengruppen die absoluten Zahlen der Oxspringbewertung zugeordnet sind.

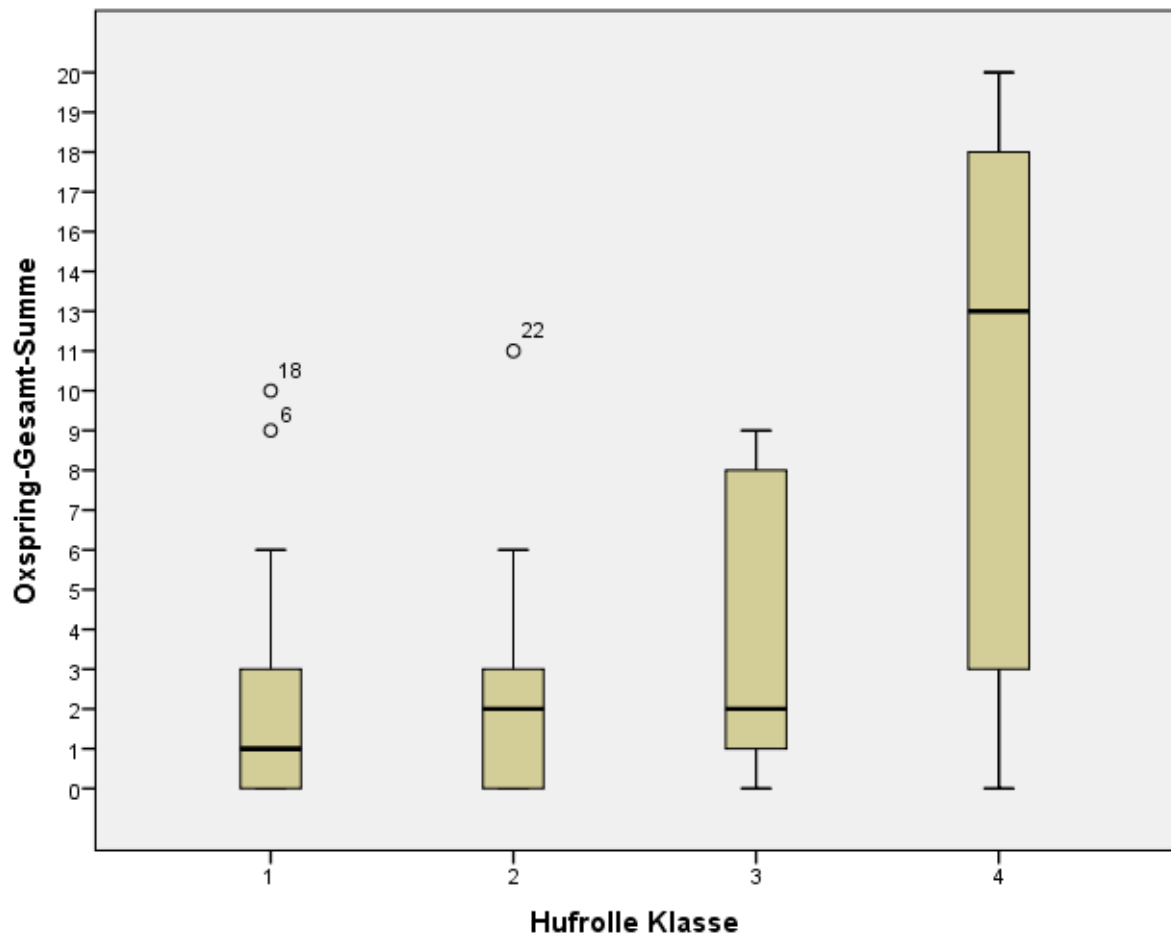


Abbildung 34: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Oxspringaufnahme und der Präparation

### 6.2.3 Skylineaufnahme

Tabelle 38: Differenzen der Röntgenklasse der Skylineaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

	Gesamtsumme	
Differenz	n	%
-3	3	3,1
-2	12	12,5
-1	13	13,5
0	47	49
1	17	17,7
2	4	4,2
Gesamt	96	100

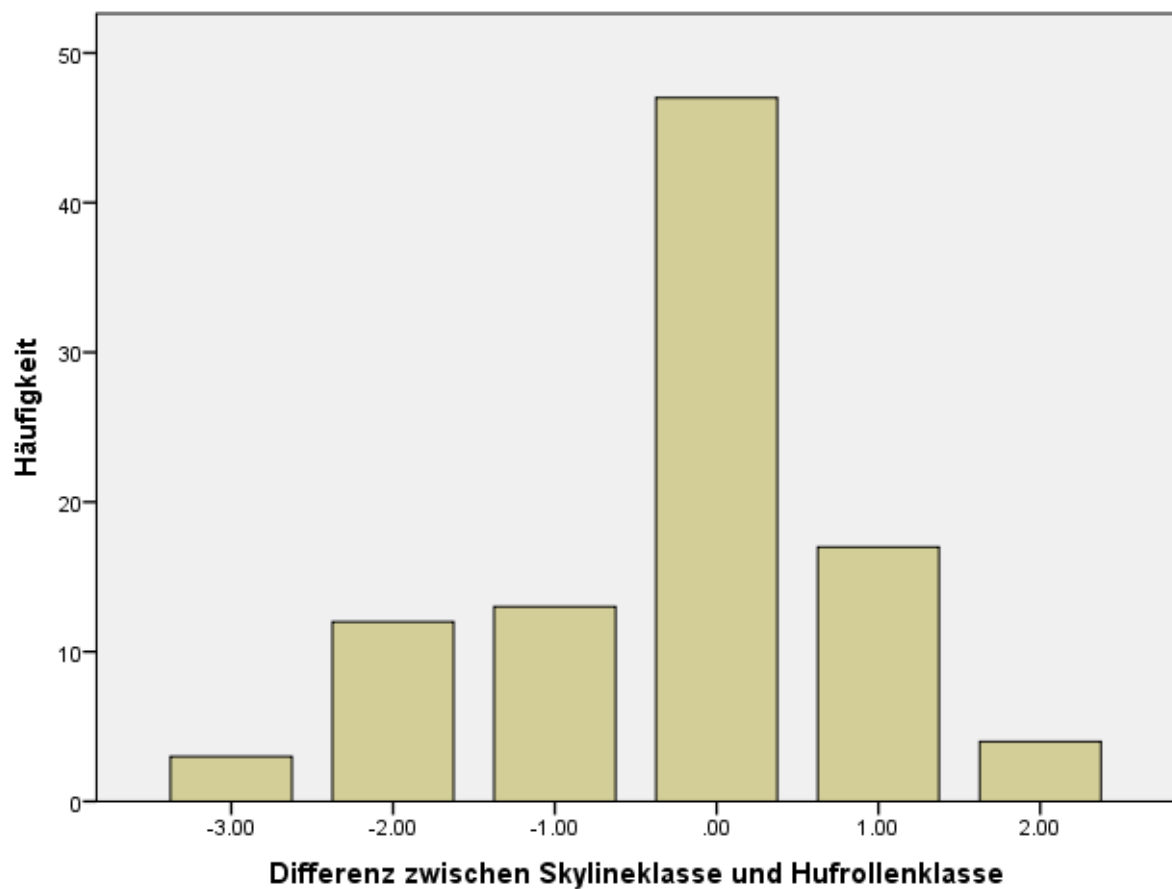


Abbildung 35: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Skylineaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

Tabelle 39: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Skylineaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

	Gesamtsumme	
Differenz	n	%
0	47	49
1	30	31,3
2	16	16,7
3	3	3,1
Gesamt	96	100

Tabelle 38 und 39 zeigen die Differenzen zwischen Präparation und Röntgenklasse bzw. den Betrag der Differenzen. 28 Beine (29,2%) wurden auf dem Röntgenbild zu gut beurteilt. Die durchschnittliche Abweichung betrug  $(-0,61)$ . Bei 21 (21,9%) Vorderbeinen wurde die Hufrolle auf dem Röntgenbild der Skylineaufnahme zu schlecht beurteilt. Daraus ergibt sich

in dieser Gruppe eine Abweichung von 0,37. Bei 77 (80,2%) Beinen wies die Abweichung weniger als eine Klasse auf. Bei 15 Beinen (15,6%) wurden die Skylineaufnahmen um mehr als eine Klasse positiver als die Hufrolle bewertet. Es wurden jedoch nur 4 Beine (4,2%) um mehr als eine Klasse zu schlecht bewertet. Die durchschnittliche Abweichung im Betrag betrug 0,74. Dies wird im Balkendiagramm der Abbildung 35 deutlich.

**Tabelle 40: Kreuztabelle/ Heatmap der Hufrollenklasse und der Skyline-Klasse**

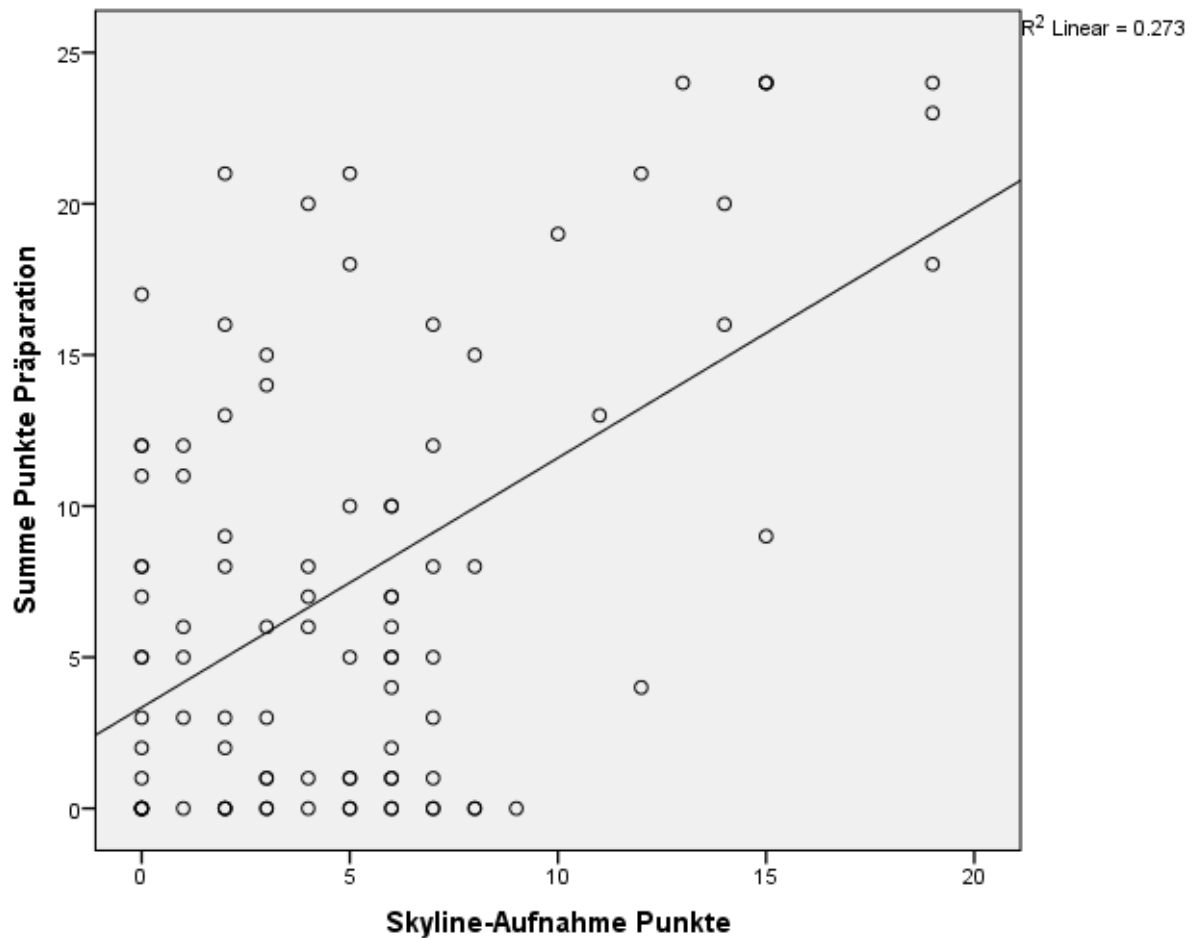
			KlasseHufrolle				Gesamt
			1	2	3	4	
Skylineklasse	1	Anzahl	21	10	8	3	42
	2	Anzahl	15	15	1	4	35
	3	Anzahl	3	2	2	2	9
	4	Anzahl	0	1	0	9	10
Gesamt		Anzahl	39	28	11	18	96

Der aus der Tabelle 40 errechnete gewichtete Kapa beträgt  $p=0,280$ . Der positive prädiktive Wert einer Skyline-Klassen-Bewertung mit 4 ist dabei 0,9, bei einer Sensitivität für hgr. Befunde von 50,0% und einer Spezifität von 98,3%. Bei einer Bewertung der Skyline-Klasse von 3 und 4 beträgt der positive prädiktive Wert 0,68 bei einer Sensitivität für mgr. und hgr. Befunde von 48,3% und einer Spezifität von 91,0%.

**Tabelle 41: Vereinfachte Auswertung der Skylineaufnahme**

		Klasse Hufrolle		Gesamt
		1 und 2	3 und 4	
Skylineklasse	1 und 2	61	16	77
	3 und 4	6	13	19
Gesamt		67	29	96

Nach der Tabelle 41 ergibt sich eine Sensitivität von 44,8% bei einer Spezifität von 91,0% für eine vereinfachte Auswertung. Der positive prädiktive Wert ist 0,684. Der negative prädiktive Wert beträgt 0,792.



**Abbildung 36: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Präparation und der Skyline-Aufnahme**

Der nach Spearman berechnete signifikante Korrelationskoeffizient aus der Summe der Präparation und der Skyline-Summe ist 0,305. Der nach Lin berechnete Korrelationskoeffizient beträgt  $r^2=0,273$ . Abbildung 36 zeigt ein Punktediagramm der absoluten Punktzahlen. Abbildung 37 zeigt die absoluten Skyline-Punkte, die den jeweiligen Hufrollengruppen zugeordnet wurden.

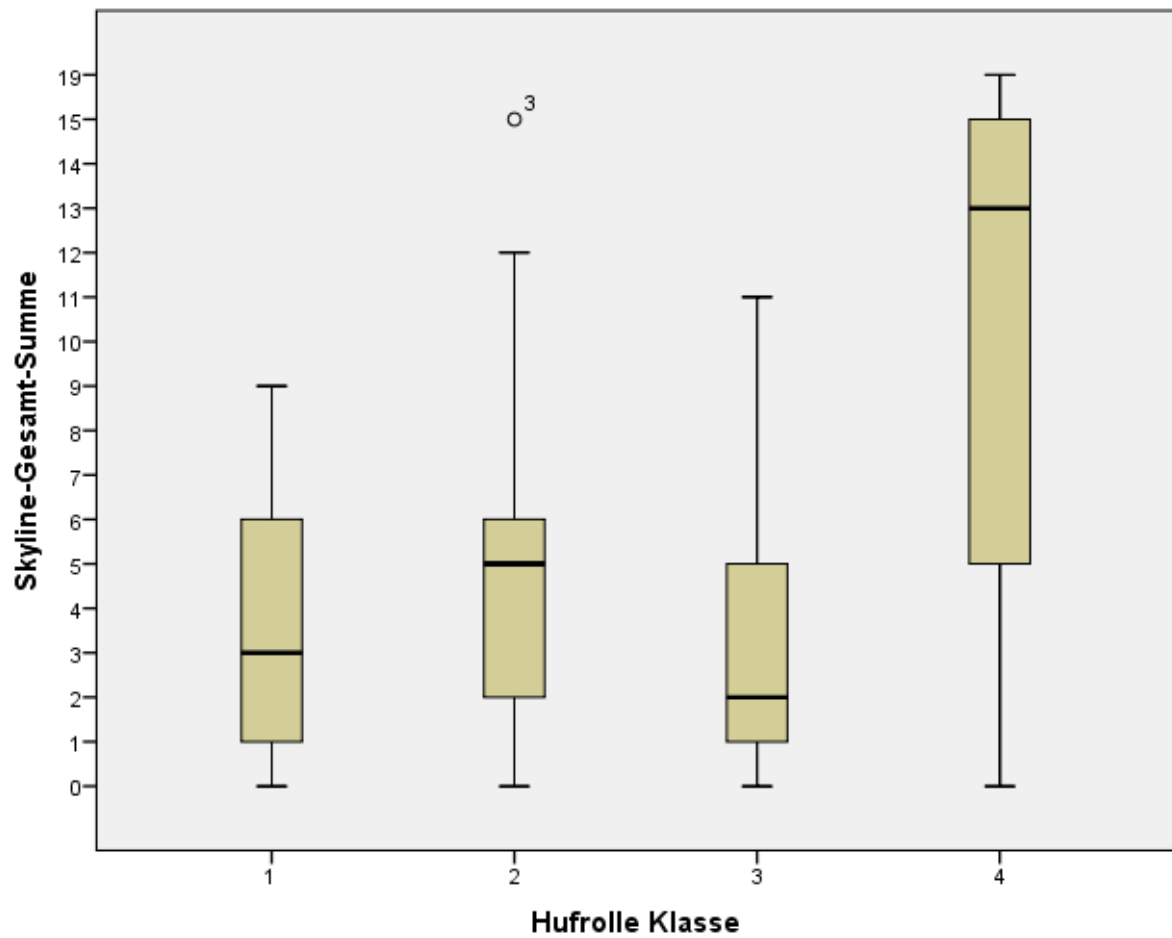
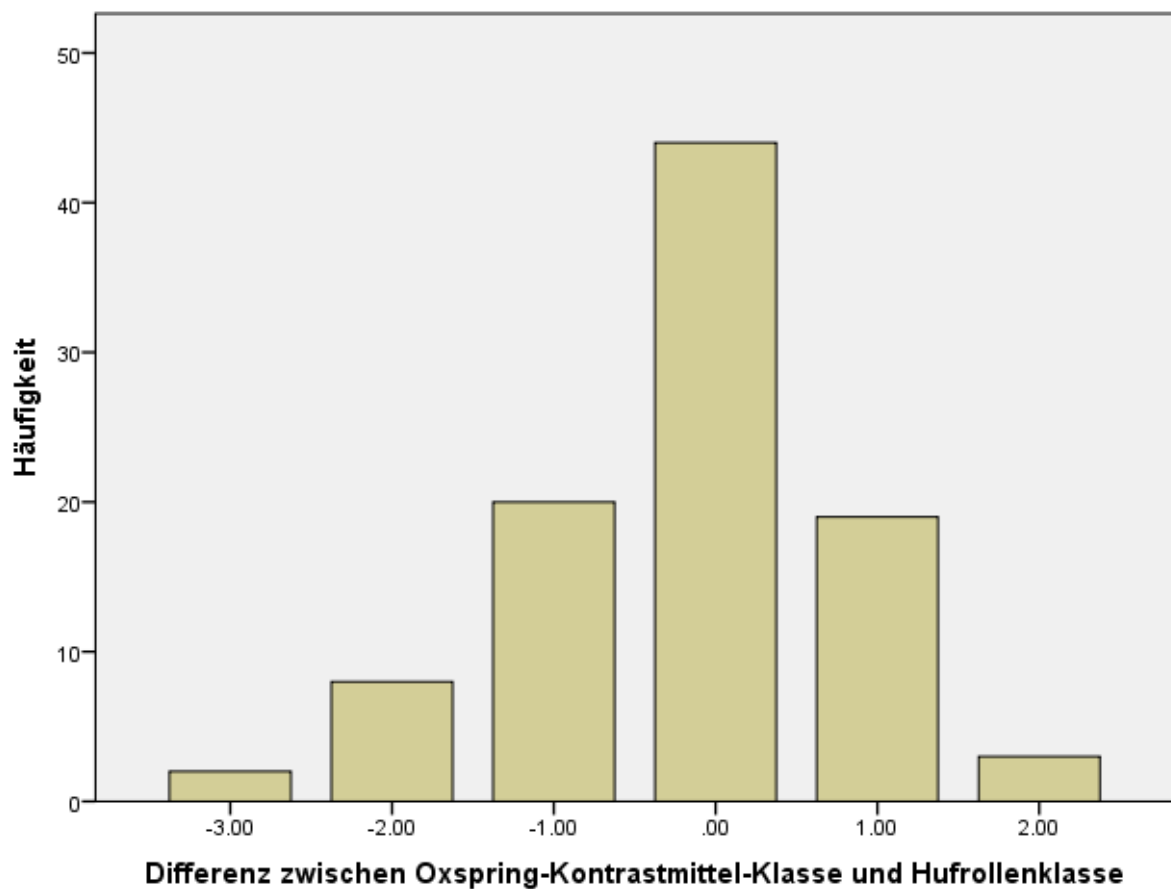


Abbildung 37: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Skylineaufnahme und der Präparation

#### 6.2.4 Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel

Tabelle 42: Differenzen der Röntgenklasse der Oxspring-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

	Gesamtsumme	
Differenz	n	%
-3	2	2,1
-2	8	8,3
-1	20	20,8
0	44	45,8
1	19	19,8
2	3	3,1
Gesamt	96	100



**Abbildung 38: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspring-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse**

Tabelle 42 und Abbildung 38 zeigen, dass bei 30 (31,3%) Beinen die Oxspring-Kontrastmittel-Klasse auf dem Röntgenbild zu gut bewertet wurde. Somit war die Abweichung in dieser Richtung im Mittel 0,57. 22 (22,9%) Aufnahmen wurden zu schlecht bewertet und ergaben so eine Abweichung von 0,38. Bei 83 Beinen (86,5%) betrug die Abweichung nicht mehr als eine Klasse. Bei 10 Vorderbeinen (10,4%) wurden die Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahmen um mehr als eine Klasse positiver bewertet, als die Klasse der Präparation. Drei Beine (3,1%) wurden auf der Röntgenaufnahme um mehr als eine Klasse negativer bewertet. Die durchschnittliche Abweichung im Betrag, wie in Tabelle 43, zwischen Röntgenklasse und Bewertung der Hufrolle betrug somit 0,7.



**Tabelle 43: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspring-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse**

	Gesamtsumme	
Differenz	n	%
0	44	45,8
1	39	40,6
2	11	11,5
3	2	2,1
Gesamt	96	100

**Tabelle 44: Kreuztabelle/ Heatmap der Klassen der Präparation und der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme**

			KlasseHufrolle				
			1	2	3	4	
Oxspring-Kontrast-Klasse	1	Anzahl	22	15	6	2	45
	2	Anzahl	15	8	3	2	28
	3	Anzahl	2	4	2	2	10
	4	Anzahl	0	1	0	12	13
Gesamt		Anzahl	39	28	11	18	96

Der errechnete gewichtete Kapa aus Tabelle 44 beträgt  $p=0.358$ . Die Einteilung der Hufrollen-Kontrast-Klasse, wie sie in dieser Arbeit durchgeführt wurde, ergibt einen positiven prädiktiven Wert von 0,92. Bei einer Einteilung in dieser Röntgenklasse in die Kategorie 4 ergibt sich eine Sensitivität für hgr. veränderte Hufrollen von 66,7% bei einer Spezifität von 98,5%. Wird bei dieser Röntgenklasse sowohl die Klasse 3 als auch 4 positiv bewertet, ergibt sich für Hufrollenpräparate, die mit 3 oder 4 eingestuft wurden, ein positiver prädiktiver Wert von 0,70, eine Sensitivität von 55,2% bei einer Spezifität von 89,6%.

Die Korrelation nach Spearman zwischen der Summe der Präparation und der Summe der Punkte der Oxspring-Kontrast-Aufnahme ist 0,388. Der nach Lin berechnete Korrelationskoeffizient beträgt  $r^2=0,370$ . In der vereinfachten Auswertung nach Tabelle 45 ergibt sich eine Sensitivität von 55,2% bei einer Spezifität von 89,6%. Der positive prädiktive Wert beträgt dabei 0,700 und der negative prädiktive Wert 0,822.

Tabelle 45: Vereinfachte Auswertung der Oxspring-Kontrast-Aufnahme

		Klasse Hufrolle		Gesamt
		1 und 2	3 und 4	
Oxspring-Kontrast-Klasse	1 und 2	60	13	73
	3 und 4	7	16	23
Gesamt		67	29	96

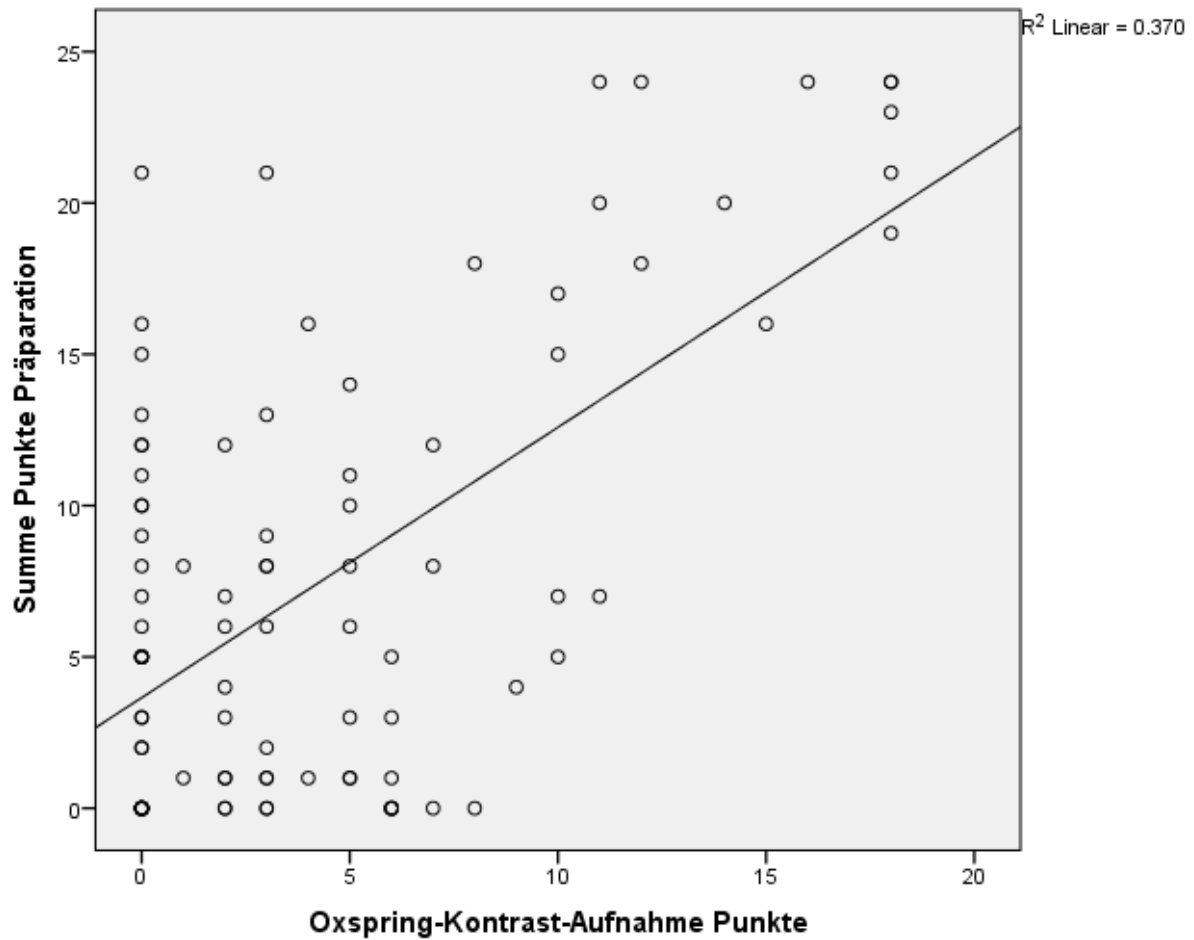


Abbildung 39: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation

Abbildung 39 zeigt ein Punktediagramm der absoluten Punktzahlen. Abbildung 40 zeigt die absoluten Oxspring-Kontrast-Punkte, die den jeweiligen Hufrollengruppen zugeordnet wurden.

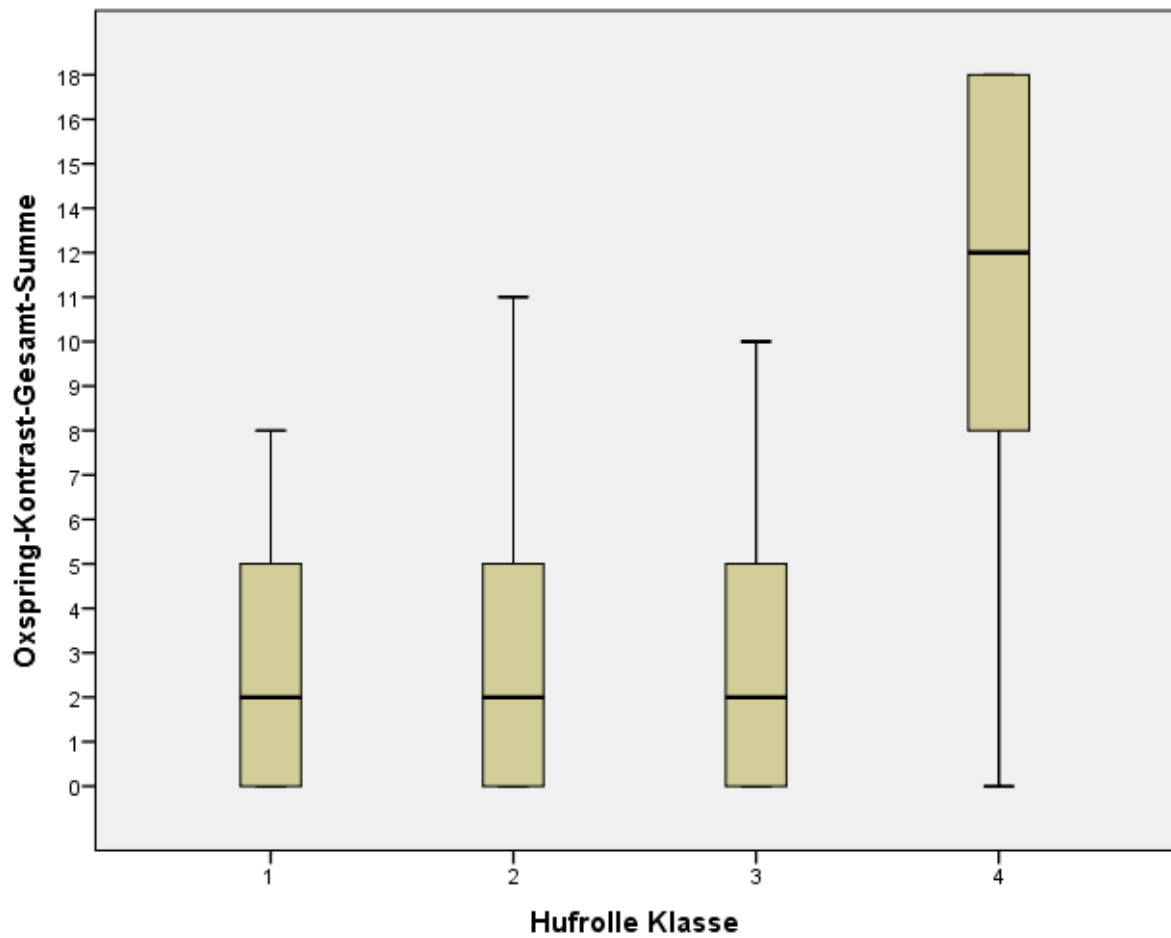


Abbildung 40: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation

### 6.2.5 Skylineaufnahme mit Kontrastmittel

Tabelle 46: Differenzen der Röntgenklasse der Skyline-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

Gesamtsumme			SK6=1 und 2		SK6=2	
Differenz	n	%	n	%	n	%
-3	1	1	1	2,2	0	0
-2	6	6,3	4	8,7	0	0
-1	16	16,7	6	13	1	5,9
0	49	51	25	54,3	12	70,6
1	15	15,6	7	15,2	3	17,6
2	6	6,3	2	4,3	1	5,9
3	2	2,1	1	2,2	0	0
Gesamt	95	99	46	100	17	100

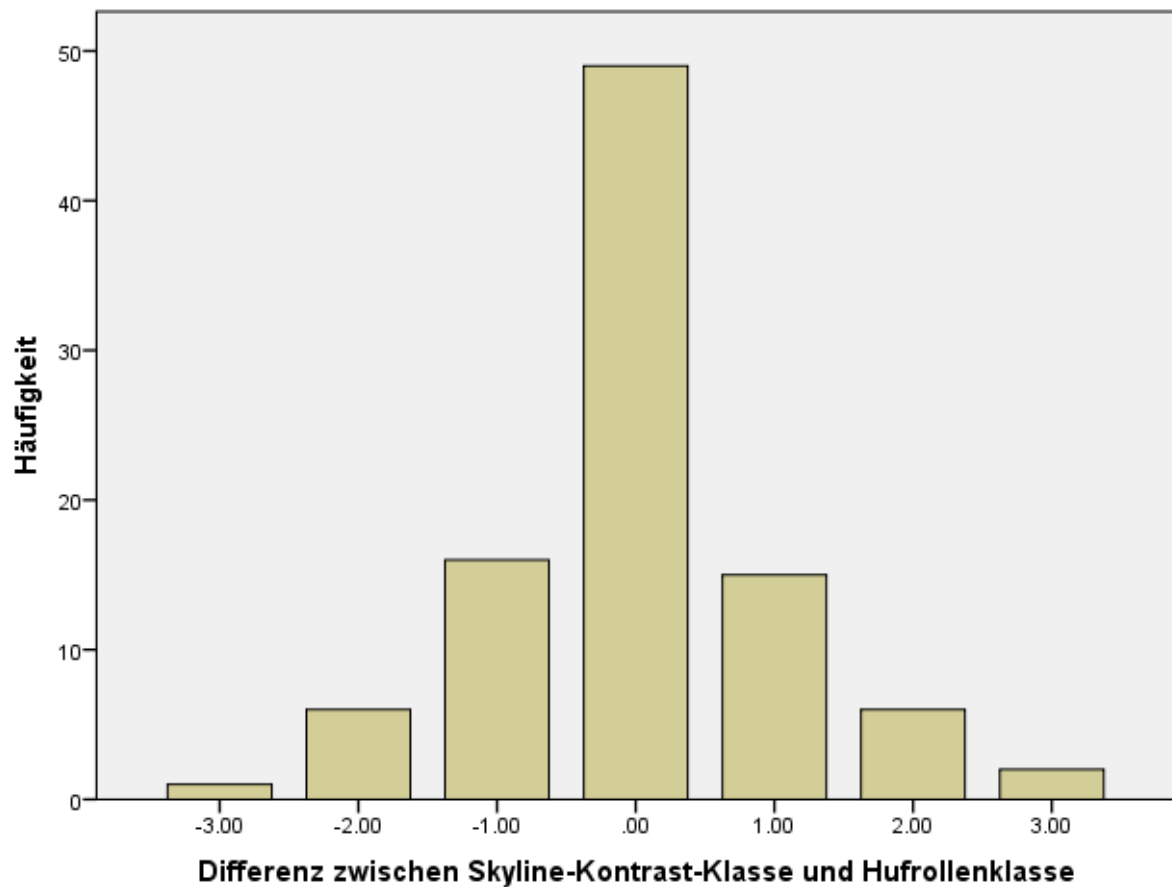


Abbildung 41: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Skyline-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

Tabelle 47: Betrag von den Differenzen der Röntgenklasse der Skyline-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse

	Gesamtsu mme		SK6=1 und2		SK6=2	
Differenz	n	%	n	%	n	%
0	49	51	25	54,3	12	70,6
1	31	32,3	13	28,3	4	23,5
2	12	12,5	6	13	1	5,9
3	3	3,1	2	4,3	0	0
Gesamt	95	99	46	100	17	100

In Tabelle 46 und Abbildung 41 ist ersichtlich, dass 23 Vorderbeine (24,2%) in der Skylineaufnahme mit Kontrastmittel zu gut bewertet wurden. Die durchschnittliche Abweichung beträgt in dieser Gruppe 0,43. Es wurden ebenfalls 23 Vorderbeine (24,2%) zu

schlecht klassifiziert. In dieser Gruppe betrug die Abweichung 0,46. 80 (84,2%) Beine waren nicht mehr als eine Klasse besser oder schlechter. Von 7 Beinen (7,3%) waren die Aufnahmen um mehr als eine Klasse besser als die Präparation beurteilt worden. 8 Beine (8,4%) waren um mehr als eine Klasse zu schlecht beurteilt. Die durchschnittliche Abweichung betrug für alle Aufnahmen 0,67 im Betrag.

Es ist ebenfalls ersichtlich, dass bei allen 17 Präparaten, bei denen das Merkmal SK6 sehr gut sichtbar war, die Übereinstimmung besser ausgeprägt war. So war die Abweichung bei diesen Beinen im Betrag nur 0,35.

**Tabelle 48: Kreuztabelle/ Heatmap der Klassen der Präparation und der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme**

			KlasseHufrolle				Gesamt
			1	2	3	4	
Skyline-Kontrast-Klasse	1	Anzahl	26	12	3	1	42
	2	Anzahl	7	8	1	3	19
	3	Anzahl	4	5	4	3	16
	4	Anzahl	2	2	3	11	18
Gesamt		Anzahl	39	27	11	18	95

Aus der Tabelle 48 ergibt sich ein gewichteter Kapa von  $p=0,455$ . Für die Klasseneinteilung der Skyline-Kontrast-Klasse in dieser Arbeit von 4 ergibt sich für hgr. Befunde ein positiver prädiktiver Wert von 0,73 bei einer Sensitivität von 61,1% und einer Spezifität von 93,3%.

**Tabelle 49: Vereinfachte Auswertung der Skyline-Kontrast-Aufnahme**

		Klasse Hufrolle		Gesamt
		1 und 2	3 und 4	
Skyline-Kontrast-Klasse	1 und 2	53	8	61
	3 und 4	13	21	34
Gesamt		67	29	95

Aus der Tabelle 49 ergibt sich eine Sensitivität von 72,4% bei einer Spezifität von 80,3%. Der positive prädiktive Wert liegt bei 0,618 und der negative prädiktive Wert bei 0,869.

Bei dem direkten Vergleich der Gesamtsummen der Punkte von der Hufrollenauswertung und der Skyline-Kontrast-Aufnahme ergibt sich eine Korrelation nach Spearman von  $p=0,532$ . Der nach Lin berechnete Korrelationskoeffizient beträgt  $r^2=0,405$ . Abbildung 42 zeigt ein Punktediagramm der absoluten Punktzahlen. Abbildung 43 zeigt die absoluten Skyline-

Kontrast-Punkte die den jeweiligen Hufrollengruppen zugeordnet wurden, im Boxplotdiagramm.

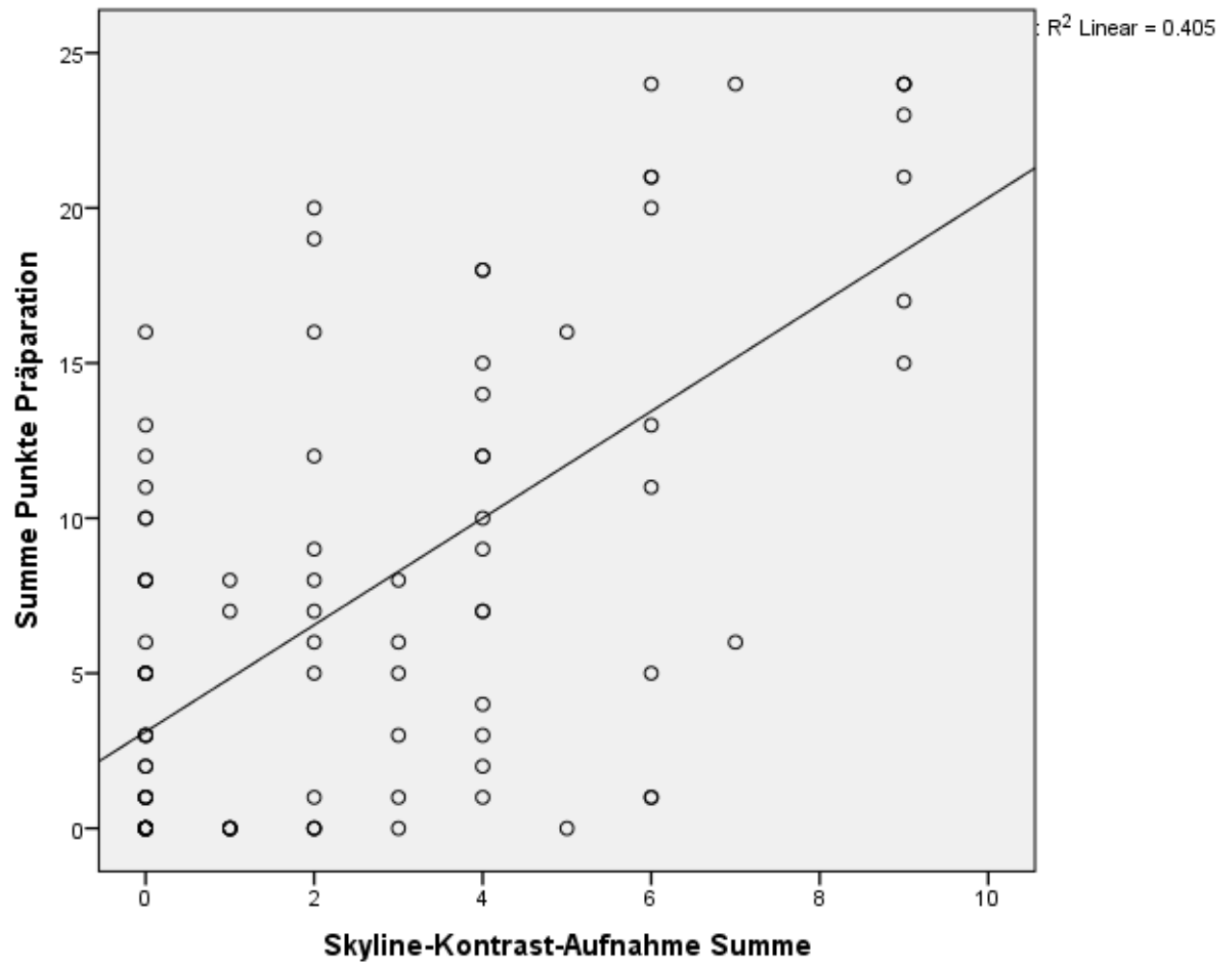


Abbildung 42: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation

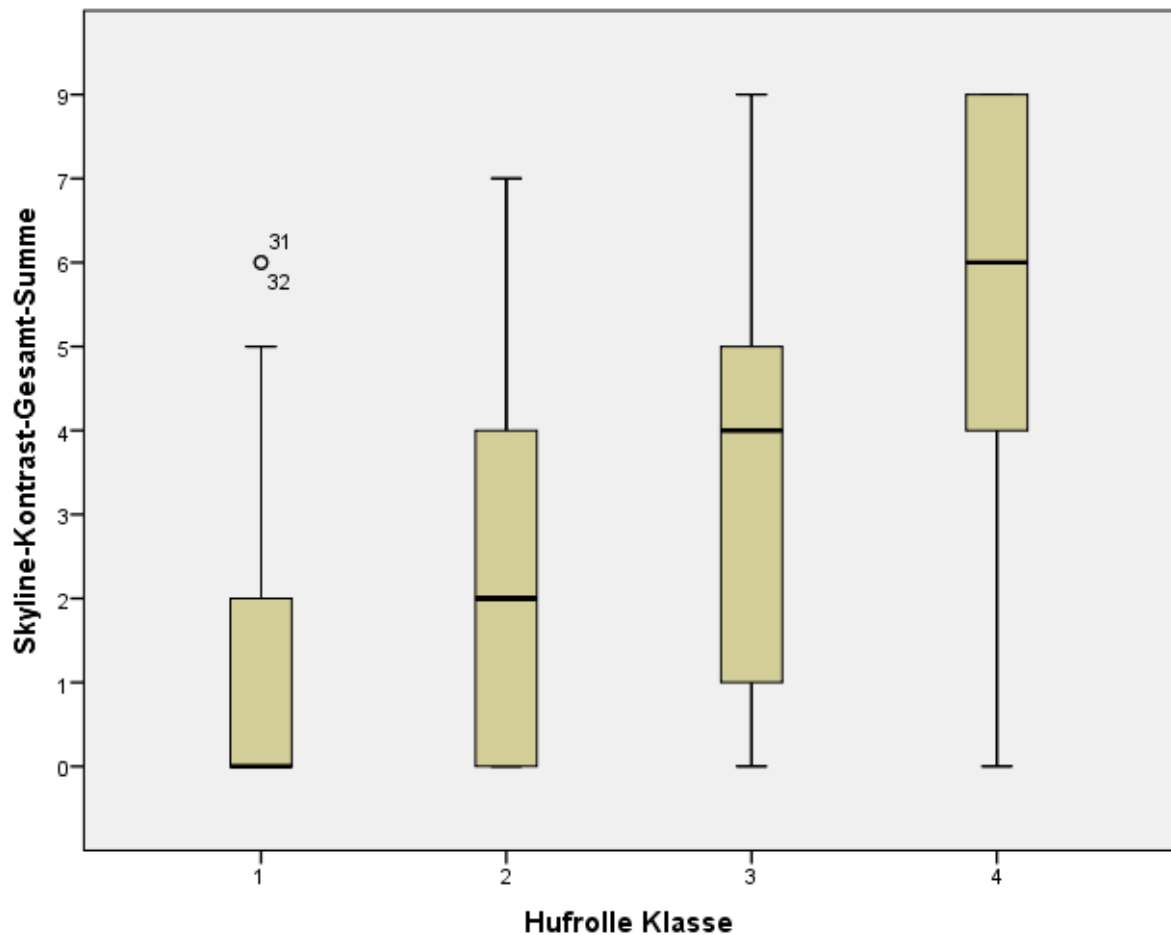


Abbildung 43: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation

### 6.2.6 Röntgenprojektionen im Vergleich

Tabelle 50 zeigt die jeweiligen Prozentsätze, um die sich die bestimmten Röntgenklassen von den ermittelten Hufrollenklassen unterscheiden. Da Abweichungen von mehr als einer Klasse besonders wichtig sind, wurden diese jeweils extra vermerkt. Die Oxspringauswertung nach dem RÖLF bewertet auffallend viele Beine zu schlecht. Die Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme bewertet ebenfalls mehr als doppelt so viele Aufnahmen um mehr als eine Klasse schlechter als die anderen Aufnahmen, abgesehen von der Auswertung nach RÖLF. In der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme werden die wenigsten Aufnahmen, um mehr als eine Klasse abweichend beurteilt.

**Tabelle 50: Vergleich der Röntgenprojektionen und deren Differenzen zwischen Röntgenklasse und Hufrollenklasse**

Parameter		Oxspring nach RÖLF	Oxspring- aufnahme	Skyline- aufnahme	Oxspring- Kontrastmittel- Aufnahme	Skyline- Kontrastmittel- Aufnahme
zu gut beurteilt	%	28,1	34,4	29,2	31,3	24,2
um mehr als eine Klasse zu gut beurteilt	%	10,42	13,5	15,6	10,4	7,3
Abweichung im Durchschnitt		0,91	0,63	0,61	0,57	0,43
zu schlecht beurteilt	%	46,9	16,7	21,9	22,9	24,2
um mehr als eine Klasse zu schlecht beurteilt	%	32,3	4,2	4,2	3,1	8,4
Abweichung im Durchschnitt		0,78	0,33	0,37	0,38	0,46
Im Bereich +/- einer Klasse	%	57,3	82,3	80,2	86,5	84,2
Abweichung im Betrag		1,01	0,74	0,74	0,70	0,67

### 6.2.7 Abweichungen von Röntgenklassen und Präparation

Aus der deskriptiven Statistik ergibt sich, dass eine Abweichung von +/- einer Klasse eine besondere Bedeutung hat. Aus diesem Grund wurden in der folgenden Tabelle 51 bzw. 52 Beine bei denen entweder die Nativaufnahmen falsch negativ oder die Kontrastaufnahmen falsch positiv waren, aufgelistet. Bei den falsch positiven Befunden war die Röntgenklasse schlechter als die Präparation. Bei den falsch negativen Befunden wies die Präparation eine schlechtere Bewertung als die Röntgenklasse auf.

Tabelle 51 zeigt, dass in vier Fällen die Veränderungen nur mit dem Kontrastmittel darzustellen waren. Dabei waren von den vier Präparaten drei als hochgradig verändert und eins als mittelgradig. Bei allen vier Präparaten war sowohl die Oxspring- als auch die Skyline-Kontrast-Aufnahme als erkrankt eingestuft. In drei Fällen war die Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme falsch positiv. Jedoch nur in einem Fall wurde sie mit der schlechtesten Note 4 bewertet. In 10 Fällen war die Differenz zwischen der Bewertung dieser Klasse und der Präparation größer als 1 und die Aufnahmen fälschlicherweise als unverdächtig eingeteilt. Dabei konnten 6 dieser 10 mit den anderen Röntgenprojektionen identifiziert werden. In drei Fällen wurden die Veränderungen auf keiner Röntgenaufnahme sichtbar.



Tabelle 51: Besondere Fälle Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme

LaufendeNr	Nummer	Klasse-Oxspring	Klasse-Skyline	Klasse-Oxspring-Kontrast	Klasse-Skyline-Kontrast	Klasse-Hufrolle
Nur mit Kontrastmittel zu sehen						
7	64011	1	1	3	3	3
12	19704	1	2	4	4	4
65	44900	2	1	3	4	4
91	25830	1	2	4	3	4
falsch positiv						
63	22583	2	1	3	2	1
72	17730	1	1	3	2	1
75	52317	1	2	4	2	2
falsch negativ						
11	53770	1	1	1	4	4
28	77440	2	1	1	2	4
51	34309	1	2	2	1	4
57	96477	2	2	1	2	3
60	61454	1	1	1	1	3
62	46555	2	2	2	4	4
76	61455	1	1	1	4	3
79	30011	3	1	1	3	3
84	30114	1	1	1	3	3
94	77527	1	3	1	1	3

In Tabelle 52 sind alle Aufnahmen aufgelistet, in denen die Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme von der Präparation um mehr als eine Klasse abweicht. Es sind ebenfalls die 7 Fälle aufgezeigt, in denen die Applikation von Kontrastmittel für die Diagnose nötig wurde. Dabei waren bei drei Skyline-Kontrastmittel-Aufnahmen die Befunde nur auf dieser Projektion zu erkennen. Es gibt aber auch zwei Fälle bei denen kein Röntgenbild die hochgradige Veränderung zeigt. Es waren bei einem Präparat auch alle Aufnahmen mit der Bestnote bewertet, obwohl das Präparat mittelgeradig verändert war

### 6.2.8 Serienuntersuchung

Um die Aussagekraft der Röntgenuntersuchung zu erhöhen, wurde die Anzahl der positiven Befunde mit der Hufrollenklasse verglichen. Dabei wurden wieder alle Röntgenaufnahmen die mit 1 und 2 bewertet wurden, als negativ angesehen. Aufnahmen mit der Bewertung von 3 und 4 waren positiv.

Tabelle 52: Besondere Fälle Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme

LaufendeNr	Nummer	Klasse-Oxspring	Klasse-Skyline	Klasse-Oxspring-Kontrast	Klasse-Skyline-Kontrast	Klasse-Hufrolle
Befunde die nur mit Kontrastmittel darzustellen waren:						
7	64011	1	1	3	3	3
11	53770	1	1	1	4	4
12	19704	1	2	4	4	4
65	44900	2	1	3	4	4
71	61114	1	1	2	4	3
84	30114	1	1	1	3	3
91	25830	1	2	4	3	4
Falsch positiv:						
4	10244	1	1	1	3	1
9	37552	1	1	2	3	1
17	69605	1	2	1	3	1
31	30112	1	2	1	4	1
32	54337	1	2	2	4	1
45	40013	1	1	2	4	2
82	33001	1	2	1	4	2
Falsch negativ:						
41	25112	4	4	4	2	4
66	11733	3	1	2	1	3
94	77527	1	3	1	1	3
auf keiner Aufnahme zu erkennen:						
28	77440	2	1	1	2	4
51	34309	1	2	2	1	4
60	61454	1	1	1	1	3

Tabelle 53: Kreuztabelle der Präparationen und der Anzahl positiver Röntgenbefunde

		Anzahl positiver Befunde					Gesamt
		0	1	2	3	4	
Hufrolle Klasse Präparation	1	25	14	0	0	0	39
	2	15	8	4	0	0	27
	3	2	5	3	0	1	11
	4	2	2	3	2	9	18
Gesamt		44	29	10	2	10	95

Daraus ergibt sich, dass von den 18 mit 4 eingestuften Strahlbeinen 11 Stück drei und mehr positive Aufnahmen haben. Das sind 66,7%. Bei einer Spezifität von 100%, da kein

Strahlbein mit einer Bewertung von 0 oder 1 drei und mehr positive Befunde aufwies. Nicht eins der 39 makroskopisch unauffälligen Präparate wies mehr als einen positiven Röntgenbefund auf. Ebenfalls wiesen nur 2 von 27 ggr. makroskopisch veränderten Präparaten zwei positive Röntgenbefunde auf. 25 dieser Gruppe hatten einen bzw. keinen positiven Befund. Die Abbildung 44 und 45 zeigt diese Ergebnisse ebenfalls. In Abbildung 46 wurden die Ergebnisse der Einteilung der Röntgenklassen summiert und nach den Hufrollenklassen geordnet. In der Abbildung 47 wurden die absoluten Punkte der Präparation mit der Summe der Röntgenklasse verglichen. Die entsprechenden Kreuztabellen mit Sensitivitäten und Spezifitäten sind im Anhang.

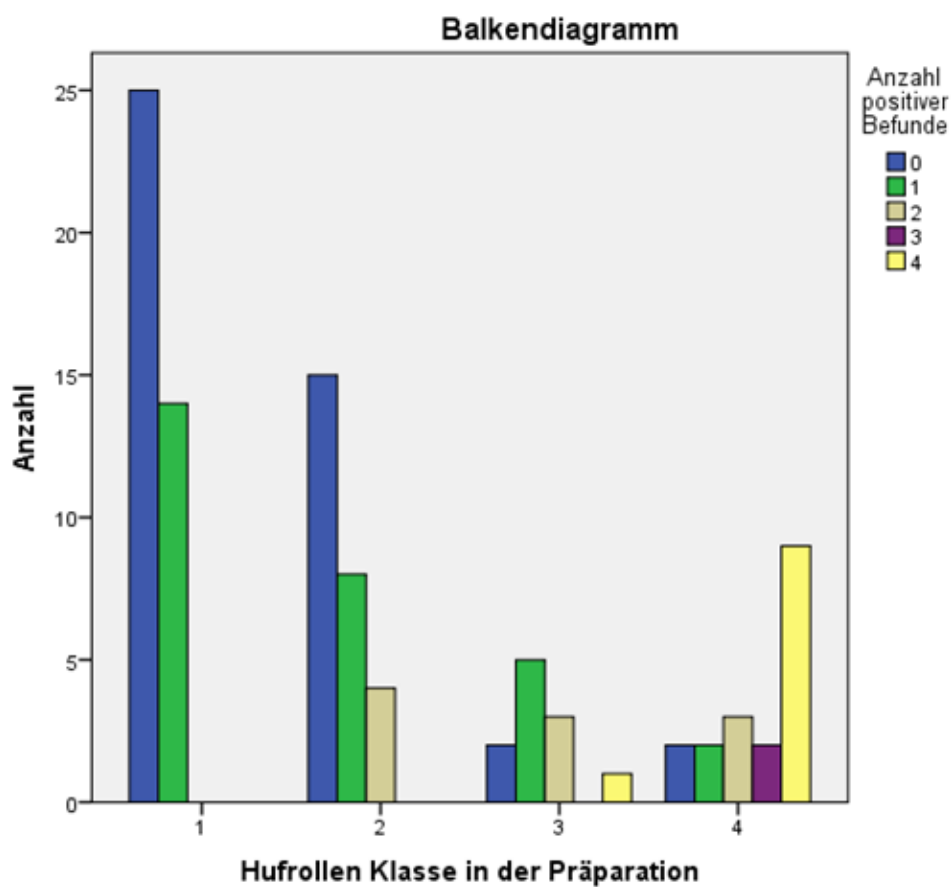


Abbildung 44: Graphische Darstellung der Tabelle 53

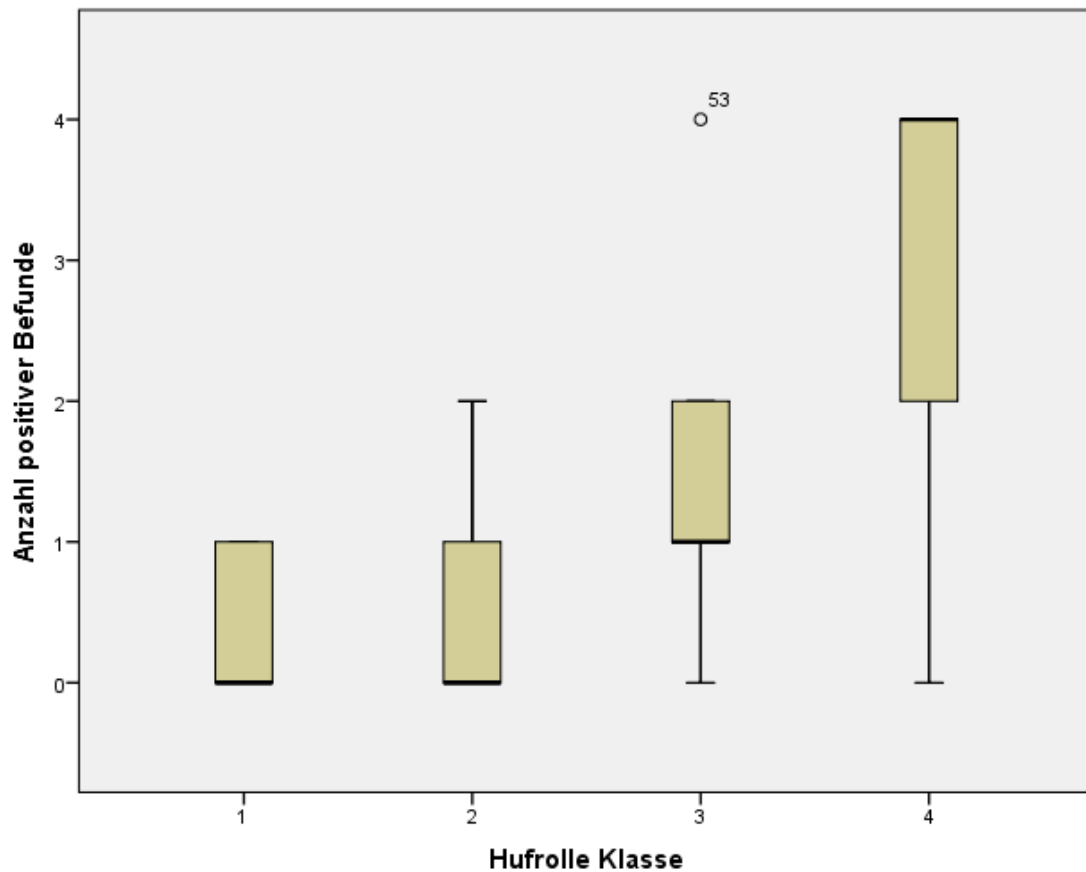


Abbildung 45: Boxplotdiagramm Anzahl der positiven Befunde der Hufrollenklassen

Abbildung 47 zeigt, dass die Summe der Röntgenklassen mit der Summe der Punkte der Präparation mit  $r^2=0,542$  nach dem Konkordanz-korrelations-Koeffizient nach Lin korreliert. Nach Spearman beträgt der Korrelationskoeffizient 0,554.

### 6.2.9 Darstellung von Schäden an der TBS

Die Möglichkeit der indirekten Darstellung von Weichteilgeweben ist ein Vorteil der Kontrastmittelaufnahmen. In den folgenden Tabellen werden Befunde auf den Röntgenbildern mit entsprechenden Befunden in der Präparation verglichen. Für die Berechnung der Sensitivität und Spezifität wurden Befunde mit 1 und 2 als negativ und mit 3 und 4 als positiv bewertet.

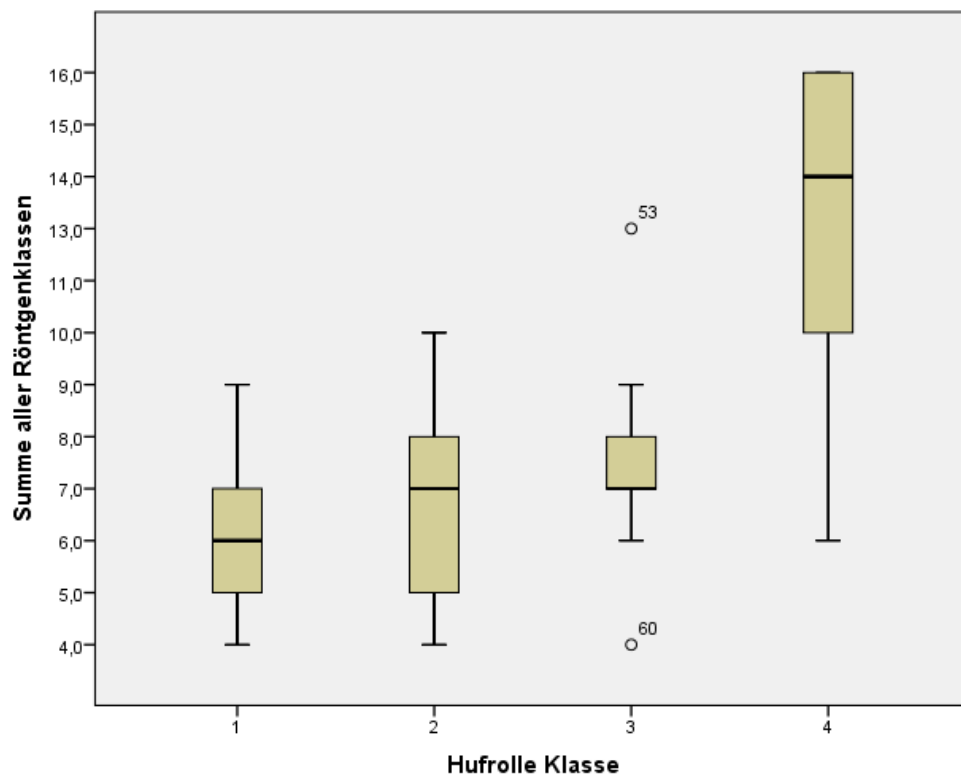


Abbildung 46: Summe der Röntgenklassen, geordnet nach Hufrollen-Klassen

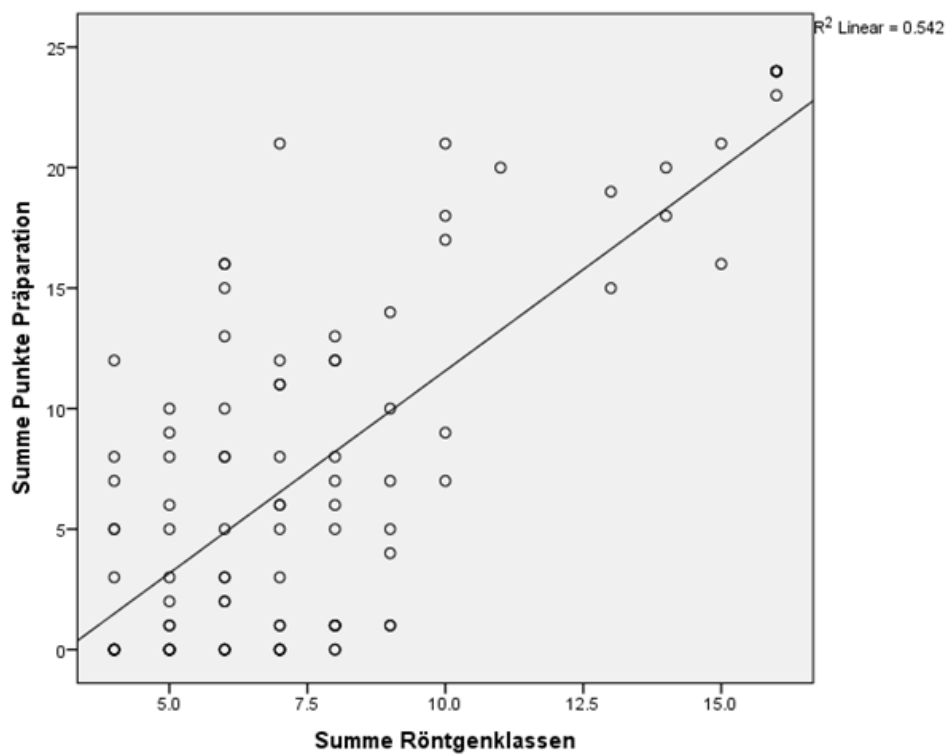


Abbildung 47: Punktediagramm der Summen der Präparation und der Röntgenklassen

**Tabelle 54: Kreuztabelle der Merkmale KO2 und A14**

		Merkmal KO2 (Anreicherung KM)				Gesamt	
		0	1	2	3		
Merkmal A14 Oberfläche TBS	0	36	17	5	1	59	
	1	6	3	1	0	10	
	2	5	3	6	3	17	
	3	1	2	1	6	10	
Gesamt			48	25	13	10	96

Unter der Annahme, dass Kontrastmittel in einen Riss, der mit der Bursa podotrochlearis in Verbindung steht, in die TBS laufen kann, sollte ein länglicher Kontrastmittelfaden auf der Oxspringaufnahme, einen Riss in der TBS darstellen. Dieses wurde mit dem Merkmal KO2 erfasst und in Tabelle 54 mit der Oberfläche der tiefen Beugesehne verglichen. Wie im Methodenteil beschrieben, ist A14:0 eine glatte unveränderte Sehnenoberfläche, A14:1 eine ggr. aufgeraute Oberfläche, A14:2 mgr. Bis hgr. aufgeraut und A14:3 sind Risse in der TBS. Dabei zeigten 7 von 10 Sehnenrissen eine positive Bewertung. Mittel- bis hochgradige Auffaserungen wurden 9 von 17 entdeckt. Es wurde jedoch nur 1 von 69 gesunden bzw. ggr. veränderten Beinen mit der schlechtesten Röntgennote und lediglich 6 von 69 mit der zweit schlechtesten Röntgennote bewertet.

**Tabelle 55: Kreuztabelle der Merkmale Sk1 und A14**

		Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)				Gesamt
		0	1	2	3	
Merkmal A14 Oberfläche TBS	0	37	15	5	2	59
	1	7	2	1	0	10
	2	3	7	6	0	16
	3	0	1	2	7	10
Gesamt		47	25	14	9	95

In Auffaserungen und Rissen in der TBS sollte sich Kontrastmittel ansammeln. Durch diesen Vorgang würde die im physiologischen glatte Linie in der Skyline-Aufnahme zur tiefen Beugesehne hin rau und unruhig werden. Dies wird mit dem Merkmal Sk1 beschrieben. So zeigt Tabelle 55 den direkten Zusammenhang der beiden Merkmale. Es wurden 9 der 10 Sehnenrisse erkannt, jedoch nur 6 der 16 Auffaserungen. 2 von 69 unauffälligen Sehnenoberflächen erhielten die schlechteste Bewertung. 6 von 69 gesunde bis ggr. veränderten Sehnenoberflächen erhielten eine mittelgradig veränderte Röntgenbewertung.

**Tabelle 56: Kreuztabelle der Merkmale KO3 und A15**

		Merkmal KO3 (Aufhellung im Kontrastmittelfaden)				Gesamt
		0	1	2	3	
Merkmal A15 ( Verklebung/ Verwachsung TBS)	0	64	6	12	2	84
	1	0	1	0	0	1
	2	1	0	2	0	3
	3	1	0	1	6	8
Gesamt		66	7	15	8	96

An den Stellen, wo die TBS mit dem Strahlbein verklebt bzw. verwachsen ist, sollte der Kontrastmittelfaden abreißen. Entsprechend müsste man in diesen Bereichen eine Aufhellung im Kontrastmittelfaden erkennen. Tabelle 56 stellt das Merkmal KO3 (Aufhellung im Kontrastmittelfaden in der Oxspringaufnahme) mit dem Merkmal A15 (Verklebung/Verwachsung der TBS mit dem Strahlbein) gegeneinander. 7 der 8 Verwachsungen konnten mit dem Merkmal KO3 nachgewiesen werden. Es wurden ebenfalls 2 der 3 Verklebungen gefunden. 14 der 84 unauffälligen Präparate wurden als positiv gewertet.

**Tabelle 57: Kreuztabelle der Merkmale Sk1 und A15**

		Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)				Gesamt
		0	1	2	3	
Merkmal A15 ( Verklebung/ Verwachsung TBS)	0	46	24	11	2	83
	1	1	0	0	0	1
	2	0	0	2	1	3
	3	0	1	1	6	8
Gesamt		47	25	14	9	95

Eine Verklebung bzw. Verwachsung sollte dann ebenfalls zu einer unruhigen Grenzfläche führen. An der Verwachsungsstelle kann kein Kontrastmittel sein. Mit dem Merkmal Sk1 wurden 7 der 8 Verwachsungen diagnostiziert und alle 3 Verklebungen. 13 unauffällige Beine wurden als positiv gewertet

Da die Verwachsung bzw. Verklebung der TBS mit dem Strahlbein immer mit einem Knorpelschaden einhergeht, sollte auch der „darstellbare“ Knorpel aufgelöst sein. Das Merkmal Sk7 ist nur geeignet, Verwachsungen sicher zu diagnostizieren.

Die aus den Tabellen 54 bis 58 errechneten Sensitivitäten und Spezifitäten sind in Tabellen im Anhang zu finden.

**Tabelle 58: Kreuztabelle der Merkmale Sk7 und A14; es wurden nur Aufnahmen berücksichtigt, in denen die „Drei Linien“ sichtbar waren**

		Merkmal Sk7 Beurteilung "Drei Linien"			Gesamt
		1	2	3	
Merkmal A14 Oberfläche TBS	0	10	16	1	27
	1	1	4	3	8
	2	0	9	2	11
	3	0	1	4	5
Gesamt		11	30	10	51

### 6.3 Bewertung der Knorpeloberfläche

**Tabelle 59: Kreuztabelle der Merkmale KO2 und A13**

		Merkmal KO2 (Anreicherung KM)				Gesamt
		0	1	2	3	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	0	23	9	3	1	36
	1	14	10	2	1	27
	2	10	4	6	3	23
	3	1	2	2	5	10
Gesamt		48	25	13	10	96

In der Analogie zu Rissen in der Sehne sammelt sich auch Kontrastmittel in Vertiefungen und Erosionen des Knorpels an. Diese Ansammlungen sind dann auf der Oxspringaufnahme als Verschattung zu erkennen. Tabelle 59 zeigt dies als Kreuztabelle. 5 der 10 Knocheneinbrüche zeigten im Röntgenbild eine deutliche Ansammlung des Kontrastmittels auf dem OSN. Bei mgr. diffusen oder lokalen Knorpelschäden zeigte das Merkmal nur 9 der 23 Fälle an. 10 der 63 unauffälligen Beine wurden positiv bewertet. Jedoch wiesen nur 2 von 63 die schlechteste Bewertung auf.

**Tabelle 60: Kreuztabelle der Merkmale Sk1 und A13**

		Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)				Gesamt
		0	1	2	3	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	0	25	7	3	0	35
	1	15	7	4	1	27
	2	7	11	3	2	23
	3	0	0	4	6	10
Gesamt		47	25	14	9	95



Die oben genannten Ansammlungen sollten sich dann in Richtung Strahlbein ausstülpfen und damit die Grenzfläche unregelmäßig erscheinen lassen. Dies führt auch zu einer rauen Oberfläche des Kontrastmittelstreifens. Hier sollte dieser jedoch eher zum Strahlbein als zur tiefen Beugeschne aufgeraut sein. Es wurden alle 10 Knocheneinbrüche mit dem Merkmal Sk1 auf der Röntgenaufnahme identifiziert. 5 der 23 mgr. geschädigten Knorpel wurden erkannt. Kein unveränderter Knorpel wurde mit der schlechtesten Röntgennote versehen. 8 von 72 unauffälligen Beinen wurden fälschlicherweise positiv bewertet. Tabelle 60 zeigt die jeweiligen Merkmale als Kreuztabelle.

**Tabelle 61: Kreuztabelle der Merkmale Sk2 und A13**

		Merkmal Sk2 (Füllung der Bursa podotrochlearis)				Gesamt
		0	1	2	3	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	0	23	9	3	0	35
	1	13	5	9	0	27
	2	10	2	9	2	23
	3	0	1	4	5	10
Gesamt		46	17	25	7	95

Durch die Ansammlungen sollte die Füllung auch unregelmäßig erscheinen. Des Weiteren sind Bursaadhäsionen ein häufiger Nebefund. Diese Adhäsionen führen ebenfalls zu einer ungleichmäßigen Füllung. So ist eine veränderte bzw. ungleichmäßig gefüllte Bursa podotrochlearis nur ein Hinweis auf eine Pathologie. Sie kann einen direkten Defekt am Knorpel nicht anzeigen. Es zeigten jedoch 9 der 10 mgr. veränderten Strahlbeine ebenfalls eine ungleichmäßig gefüllte Bursa podotrochlearis. 12 der 23 mgr. veränderten Präparate im Merkmal A13 hatten einen positiven Befund im Merkmal Sk2. Dies ist in Tabelle 61 zu erkennen. Eine Besonderheit ist, dass 9 von 27 mgr. veränderten Präparate auch einen mgr. positiven Befund hatten, jedoch nur 3 von 35, der als gesund eingestuften Präparate.

Nach Turner (1998) stellt die mittlere Schicht den Faserknorpel da. Aus der Veränderung dieser Schicht kann man somit direkt auf die Dicke und Beschaffenheit des Knorpels Rückschlüsse ziehen. Aus der Tabelle 62 ist zu erkennen, dass 4 der 6 Knocheneinbrüche und 6 der 16 mgr. geschädigten Knorpel das Röntgenmerkmal Sk7:3 aufwiesen. Keines der 29 gesunden bzw. mgr. veränderten Strahlbeine wiesen eine mgr. Veränderung dieses Merkmals

auf. So zeigt eine Veränderung in diesem Merkmal sicher einen Knorpelschaden an. Die aus den Tabellen 56 bis 59 errechneten Sensitivitäten und Spezifitäten sind im Anhang zu finden.

**Tabelle 62: Kreuztabelle der Merkmale Sk7 und A13; es wurden nur Aufnahmen berücksichtigt in denen die „Drei Linien“ sichtbar waren**

		Merkmal Sk7 Beurteilung "Drei Linien"			Gesamt
		1	2	3	
Merkmal A13 Knorpelgesamterscheinung	0	7	13	0	20
	1	1	8	0	9
	2	3	7	6	16
	3	0	2	4	6
Gesamt		11	30	10	51

## 6.4 Besondere Fälle

Es zeigten sich einige besondere Fälle, an denen das Ergebnis der Untersuchung noch einmal verdeutlicht werden kann. Die Bilder der makroskopischen Präparation sind im Kapitel 3.6.1 erklärt.

### 6.4.1 Bein 65

Die Abbildungen 48 und 49 zeigen die Röntgenprojektionen und das makroskopische Bild vom Bein 65. Die Oxspringaufnahme zeigt ggr. Veränderungen. Die Skylineaufnahme ist unauffällig, bis auf einen Artefakt. In der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme zeigen sich zwei deutliche fädige Verschattungen. Diese Verschattungen zeigen sich auch deutlich auf der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme. Dieses Röntgenbild deutet auf eine hgr. Auffaserung der TBS hin. Diese Annahme lässt sich in der makroskopischen Präparation bestätigen. Die Verdünnung des Faserknorpels lässt sich ebenfalls darstellen. Es zeigt sich keine feine Linie mit einer Aufhellung, die dem Faserknorpel entspricht. Diese Aufnahmen haben eine sehr große therapeutische Bedeutung. So kann dieses Pferd lokal mit einer Injektion von einem Therapeutikum in die Bursa podotrochlearis behandelt werden, sofern dies nicht bei der Applikation des Kontrastmittels bereits geschehen ist. Eine Ultraschalluntersuchung des Insertionsabschnittes der TBS wäre in diesem Fall ebenfalls sinnvoll, würde jedoch an der Therapie nichts ändern.

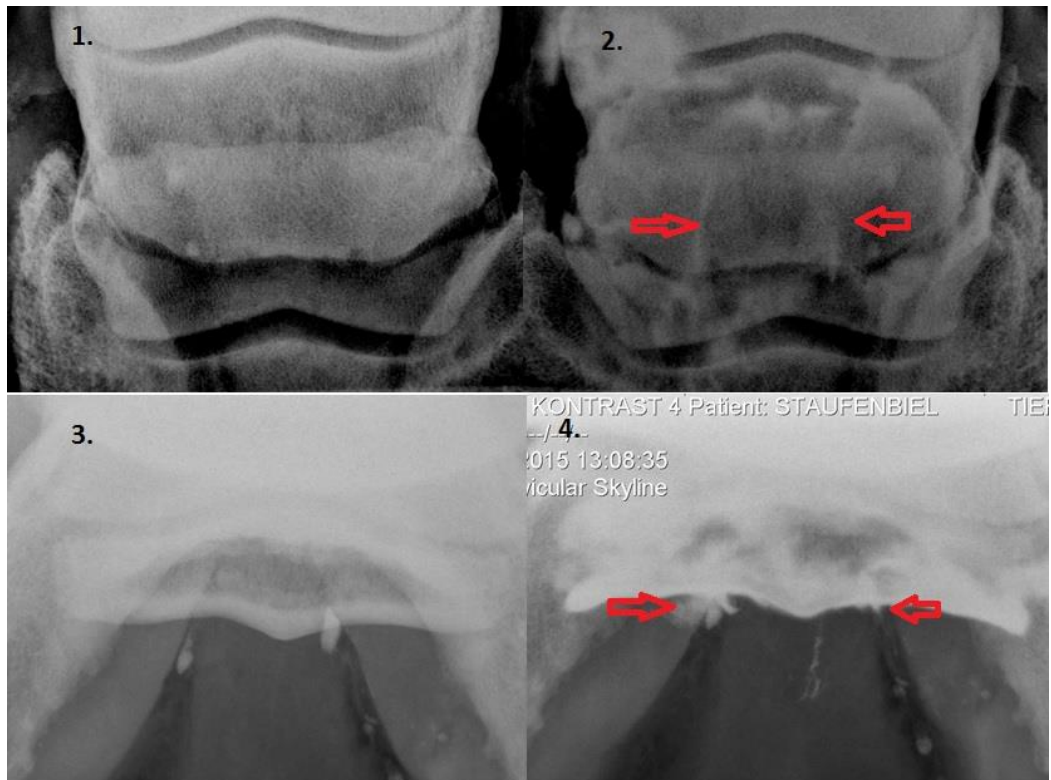


Abbildung 48 : Bein 65, links ist lateral; 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Skylineaufnahme mit Kontrastmittel; Die roten Pfeile zeigen die deutlichen Veränderungen

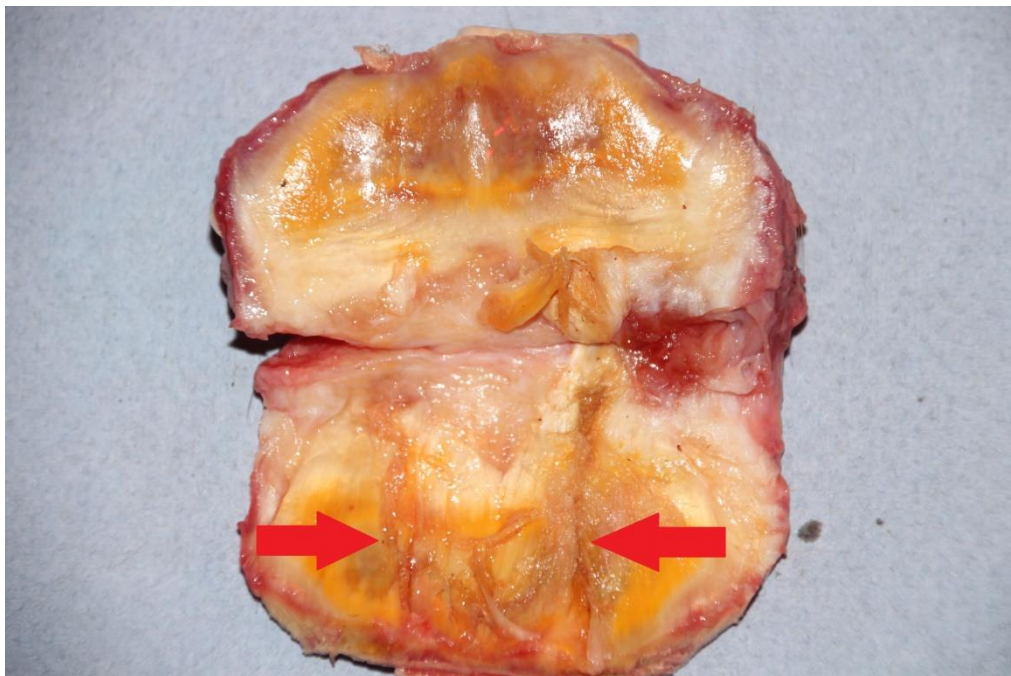
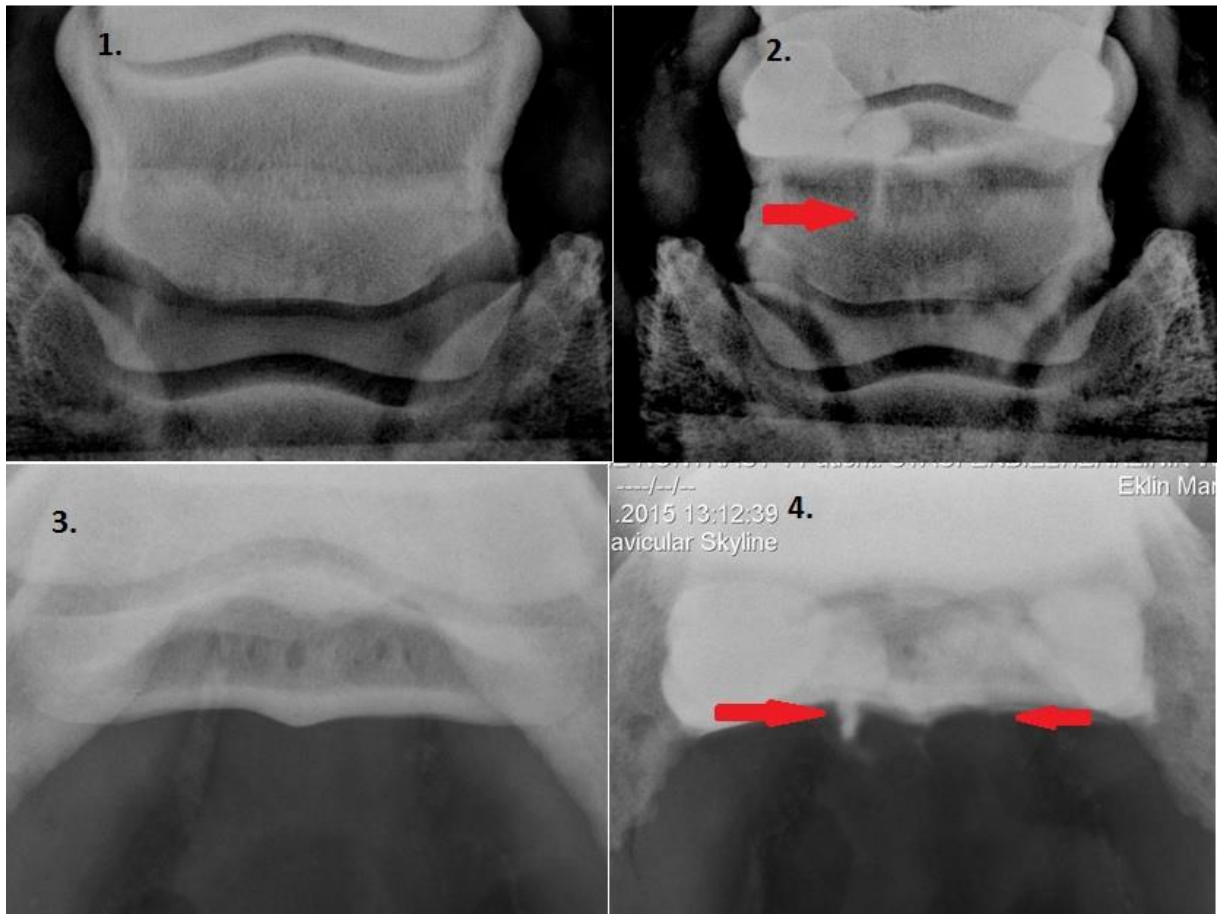
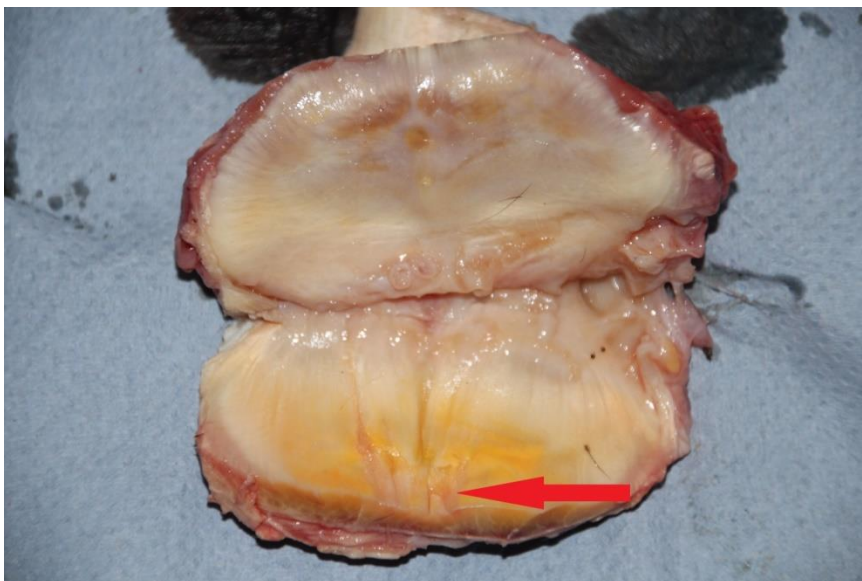


Abbildung 49: Bein 65, Präparation, links ist lateral ; Die Pfeile zeigen die hgr. Auffaserung der TBS

**6.4.2 Bein 71**

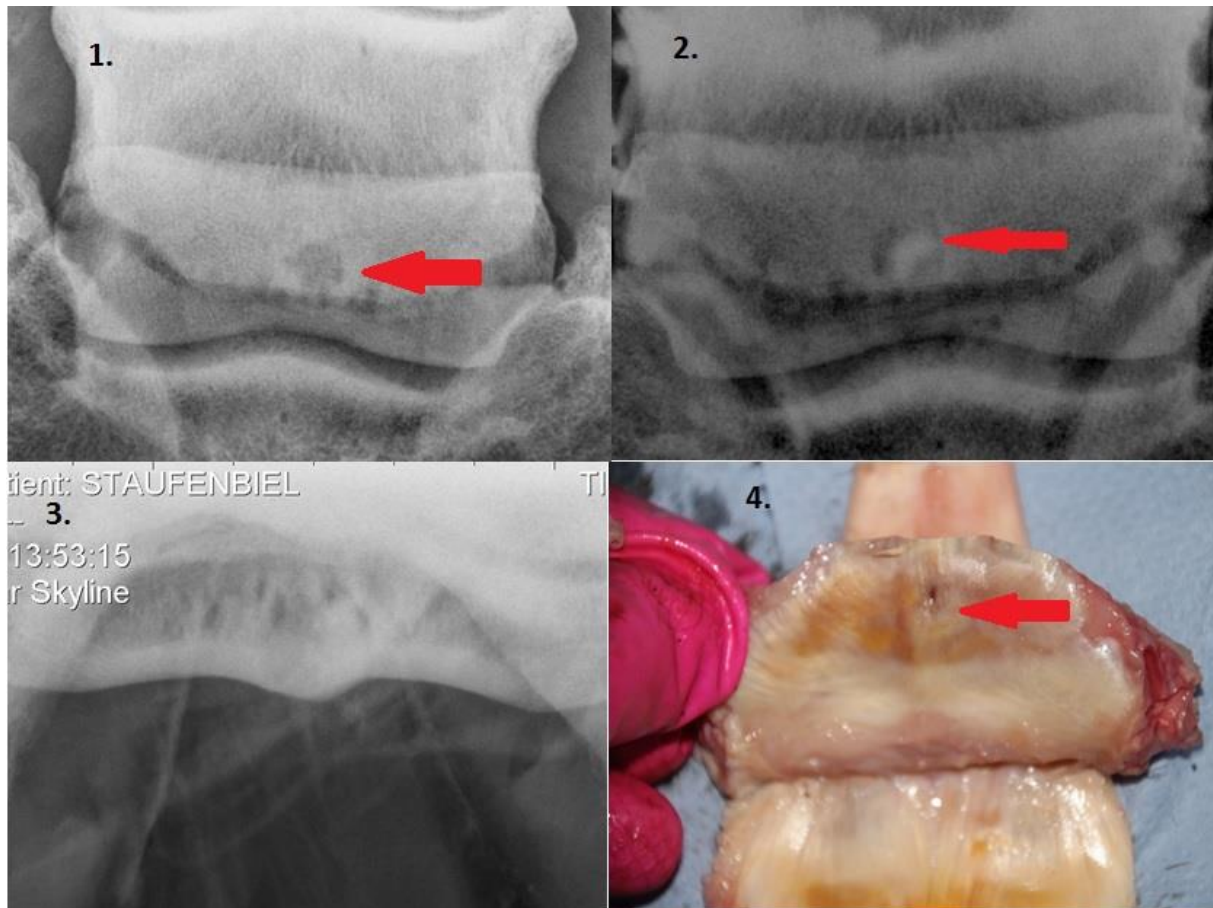
**Abbildung 50: Bein 71, lateral ist links; 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Skylineaufnahme mit Kontrastmittel; Die roten Pfeile zeigen die deutlichen Veränderungen**



**Abbildung 51: Bein 71, Präparation, lateral ist links; Die Pfeile zeigen die hgr. Auffaserung der TBS**

Wie bei dem Bein 65 ist die hgr. Auffaserung bzw. Risse der TBS auf der Dorsalseite nur deutlich mit Kontrastmittelaufnahmen zu erkennen. In diesem Fall wäre eine reine native Röntgenuntersuchung ergebnislos geblieben. Wie im Fall zuvor kann hier mit der Bursographie ein Schaden an der Oberfläche der TBS eindeutig bewiesen werden. Diese Veränderung wäre wahrscheinlich sonst nur im MRT sichtbar gewesen.

#### 6.4.3 Bein 41

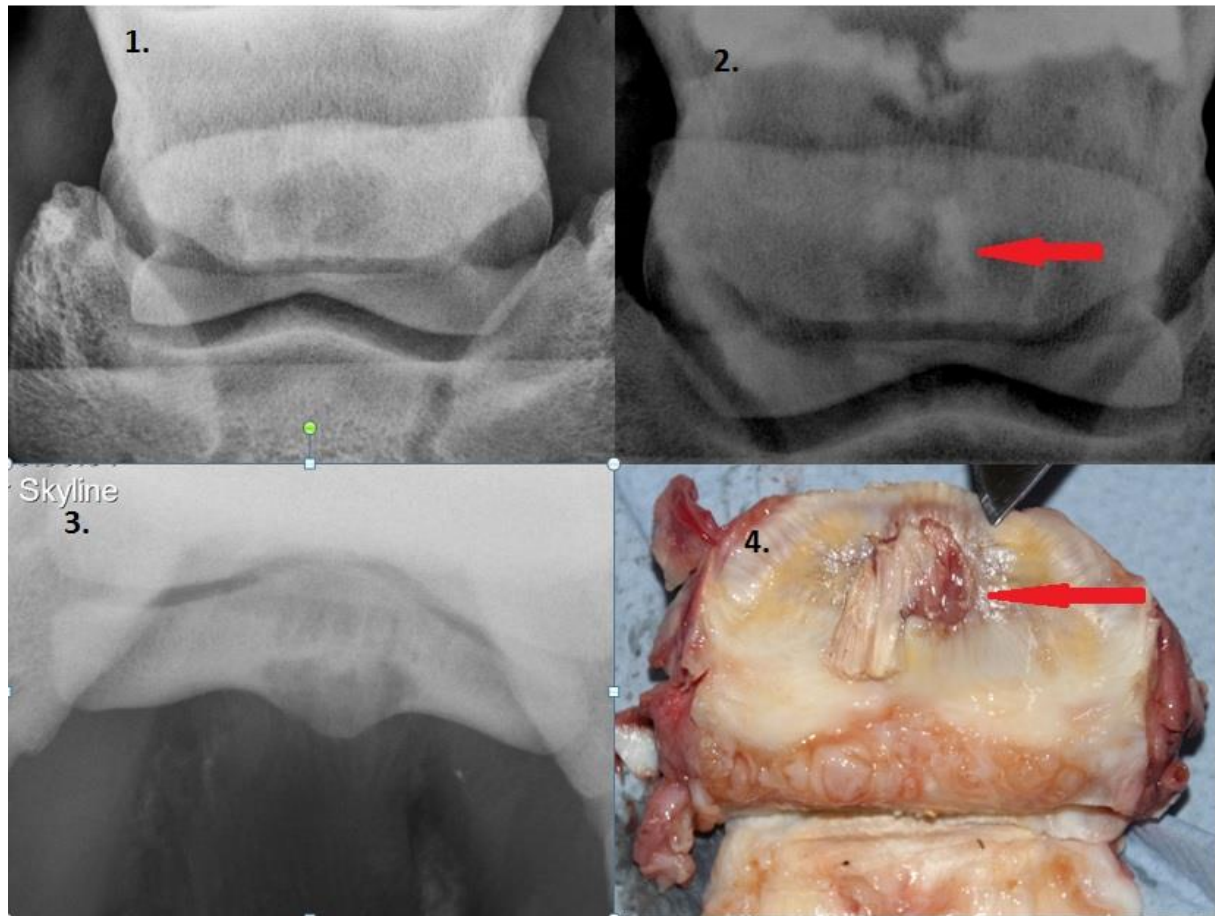


**Abbildung 52: Bein 41, links ist lateral: 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Präparation; Die roten Pfeile zeigen die deutlichen Veränderungen**

Bei dem Bein 41 in Abbildung 52 sind die hgr. Veränderungen auch ohne Kontrastmittel zu erkennen. Durch die Ansammlung von Kontrastmittel ist jedoch die Verbindung der vermuteten Zyste zur Bursa podotrochlearis eindeutig nachzuweisen. Die zusätzlichen Aufnahmen zur Oxspringaufnahme beweisen, dass es sich um eine zystenartige Läsion im OSN handelt. Die Kontrastmittelaufnahme gibt einem die Mehrinformation, dass Medikamente, die in die Bursa podotrochlearis gespritzt werden, direkt mit dem Defekt in Kontakt treten können.



## 6.4.4 Bein 46



**Abbildung 53: Bein 46: 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Präparation; Die roten Pfeile zeigen die deutlichen Veränderungen**

In diesem Fall bestätigt die Skylineaufnahme den schweren Befund der Oxspringaufnahme. Durch die Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme können sowohl die Verwachsung des Strahlbeins mit der TBS als auch der umliegende Knorpeldefekt dargestellt werden. Bei diesem Pferd liefert die Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme den Beweis, dass eine Verwachsung zwischen OSN und TBS besteht. Ob diese Information einen Einfluss auf das weitere tierärztliche Vorgehen hat, ist jedoch fraglich, da eine hgr. Schädigung der Hufrolle schon aus den nativen Aufnahmen ersichtlich ist. Trotz der auffälligen Befunde auf der Oxspringaufnahme lohnte sich auch hier das Anfertigen der Skylineaufnahme. So konnte der Befund bestätigt werden. Dies ist in diesem Fall besonders wichtig, da die Entscheidungen aus dieser Diagnose sehr fatal sind. Aufgrund dieser Bilder kann, bei entsprechender Klinik, ein Nervenschnitt oder eine Euthanasie die Therapie der Wahl sein.

## **7. Diskussion**

### **7.1 Diskussion der Methode**

#### **7.1.1 Röntgenaufnahmen**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit verschiedenen Röntgentechniken an der distalen Vordergliedmaße. Da das Röntgen das älteste bildgebende Verfahren ist und Probleme in diesem Bereich schon lange bekannt sind, gibt es bereits viele Publikationen zu diesem Thema. Über den direkten Vergleich von Oxspring- und Skylineaufnahme gibt es zurzeit in der Literatur widersprüchliche Angaben. Einige Autoren halten die Skylineaufnahme für sinnvoll (O'Brien et al. 1975, Dyson 2011) bzw. für eine komplette röntgenologische Abklärung für unverzichtbar (Ueltschi 2002). An isolierten Strahlbeinen bringt die Skylineaufnahme keinen Informationsgewinn zur Oxspringaufnahme (De Clercq, et al. 2000).

Die Technik der Bursographie wird in der Literatur kaum beachtet. Seit der Einführung durch Turner (1998) sind nur wenige Studien erschienen. Sie dient als Erfolgskontrolle für eine Bursainjektion (Verschooten, 1990, Denoix 2000). Als einzige vergleichbare Arbeit aus Deutschland ist das Ergebnis von Würfel und Hertsch (2005) zu erwähnen. Sie zeigte, dass die Bursographie keinen großen diagnostischen Wert bietet und steht damit im Widerspruch zu den Ergebnissen von Turner (1998 und 2013). Der Versuch von Würfel und Hertsch (2005) wurde mit konventionellen Röntgenfilmen durchgeführt. Der Widerspruch der beiden bestehenden Arbeiten und die Weiterentwicklung der digitalen Röntgentechnik, rechtfertigen eine Überprüfung der Ergebnisse.

Durch MRT-Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass 21,6% der Pferde Schäden der TBS im Bereich der distalen Gliedmaße aufweisen (Dyson und Murray 2007). Pferde mit Schäden an der tiefen Beugesehne (z. B. im frühen Stadium der Erkrankung) haben natürlich auch keine Veränderungen im Röntgenbild und bleiben so bei der konventionellen Radiographie unentdeckt (Robinson 2008). Schäden auf der Dorsalseite und sagittale Risse stellen sich in der Kontrastmittelaufnahme deutlich dar (Turner 2013). So könnte die Bursographie bei einigen Pferden die MRT-Untersuchung überflüssig machen.

Bei jeder Punktion einer synovialen Einrichtung besteht das Risiko einer Infektion. Bei sorgfältiger Vorbereitung ist dieses jedoch sehr gering. Es treten durchschnittlich eine

Infektion bei 1279 Punktionen auf (Steel et al. 2013). Es muss jedoch auch beachtet werden, dass man bei jeder Punktion der Bursa podotrochlearis die TBS durchsticht und mit der Nadelspitze den Knorpel ankratzen kann. Es sollte jede Injektion der Bursa abgewogen werden (Labens und Redding 2012). Patienten für eine Bursa-podotrochlearis-Injektion sind kritisch auszuwählen. Bei einem Pferd mit einer positiven TPA(1), für das eine MRT-Untersuchung nicht in Frage kommt, ist diese gerechtfertigt. Die Injektion kann dann Kontrastmittel und Therapeutikum oder Lokalanästhetikum kombinieren (Verschooten et al. 1990, Schumacher et al. 2013). So dient das Bursogramm zusätzlich als Erfolgskontrolle der Bursa podotrochlearis Injektion. Die Untersuchung von Manfredi (2012) deuten darauf hin, dass besonders Pferde mit Veränderungen an der Hufrolle von einer direkten Injektion in die Bursa podotrochlearis profitieren. Bei Ihnen ist die von Boyce (2010) festgestellte Diffusion von Triamcinolon vom Hufgelenk in die Bursa podotrochlearis gestört.

Es ist unbestritten, dass die neueren überlagerungsfreien Schnittbilder der Magnetresonanztomografie und der Computertomografie in ihrem diagnostischem Wert der Röntgentechnik überlegen sind (Widmer et al. 2000, Murray et al. 2006, Rijkenhuizen 2006). Die Röntgensysteme, insbesondere die DR-Systeme, haben jedoch andere Vorteile. Die Röntgentechnik ist in nahezu allen Pferdepraxen verfügbar. Durch Einführung der DR-Systeme ist der Zeitaufwand einer Röntgenuntersuchung stark gesunken. Bei modernen DR-Systemen kann auch die Strahlendosis gesenkt werden. Die meisten Systeme sind mobil. Es sind viele Publikationen und Erfahrungen vorhanden. Die Nachteile vom MRT und CT sind die geringere Verfügbarkeit. Das Pferd muss immer in die Einrichtung/ Klinik gebracht werden. So ist es für Pferde, die nicht transportiert werden können, nicht erreichbar. Es ist ein erfahrenes Team notwendig. Das Wissen über MRT-Befunde und ihrer klinischen Bedeutung ist noch im Aufbau. Die Pferde müssen sediert werden und für Hochfeld-MRT in Vollnarkose gelegt werden. Die MRT Untersuchung ist sehr teuer. Trotz der genannten Nachteile setzt sich diese Technologie durch. Mit der MRT Technik können frühe Veränderungen der Knochen, wie das „Bone edema“ und Veränderungen in den Weichteilen reproduzierbar festgehalten werden und so zuverlässige Prognosen gestellt werden. Zurzeit sind zum Beispiel acht „standing in“ MRT-Geräte der Firma Hallmarq® in Deutschland verfügbar. Eine frühe und spezifische MRT-Untersuchung kann Fehlbehandlungen und Folgekosten vermeiden und sollte immer im Einzelfall abgewogen werden. Das Wissen und die Erfahrungen mit dieser Technik wachsen stetig (Murray, Schramme et al. 2006, Dyson, Blunden et al. 2012, Holowinski, Solano et al. 2012). So wird sich die MRT-Untersuchung immer mehr durchsetzen. An größeren Kliniken ist sie schon heute eine Standarduntersuchung. Für die



Routinepraxis und die Ankaufsuntersuchung ist diese Technik jedoch vorerst (noch) nicht geeignet. So bleibt neben der klinischen Untersuchung, deren Wert nicht zu oft betont werden kann, die Röntgenuntersuchung (und der Ultraschall) die Basis der Lahmheitsuntersuchung beim Pferd.

### **7.1.2 Probenmaterial**

In der Arbeit wurden 48 Beinpaare von Schlachtpferden untersucht. Über die Pferde waren keine Angaben zu Alter oder früheren Lahmheiten verfügbar. Aus diesem Grund kann in dieser Arbeit kein Bezug zu direkten klinischen Problemen gezogen werden, wie in anderen vergleichbaren Studien (Wright 1993). Es wurden die Oberflächen der Gelenke, des Strahlbeins und der TBS auf makroskopische Veränderungen untersucht. Ob eine gefundene Veränderung eine Pathologie oder nur ein altersabhängiger physiologischer Prozess (Gabriel et al. 1999) ist, kann ebenfalls nicht geklärt werden. Besonders frühe Veränderungen werden auch zwangsweise übersehen, da diese sich nur in der Histologie zeigen (Komosa et al. 2014). Zusätzlich wurden nur die Oberflächen der Strukturen bewertet. Eine Veränderung, die nur im Knochen oder in der Sehne vorhanden war, kann auch übersehen worden sein. Da die Beschaffenheit von subchondralen Knochen und Knorpel sehr eng verknüpft sind, ist dies unwahrscheinlich (Neogi et al. 2009, Findlay und Atkins 2014). In der makroskopischen Präparation und der anschließenden Einteilung in Gruppen zeigten sich 40,6% der Beine in Klasse 1, 26,1% in Klasse 2, 13,5% in Klasse 3 und 19,8% in Klasse 4. Damit lässt sich der Probenpool mit der Arbeit von Würfel und Hertsch (2005) gut vergleichen. Dort waren 38,9% in Klasse 1, 20,0% in Klasse 2, 12,2% in Klasse 3 und 28,9% in Klasse 4. Diese Arbeit wurde ebenfalls an Beinen durchgeführt, die von einem Pferdeschlachter kamen. Inwieweit dieser Probenpool die für Tierärzte interessante Gruppe der Sport- und Freizeitpferde widerspiegelt, ist nicht bekannt. Da ausschließlich zur Schlachtung gehaltene Warmblüter in Deutschland nicht existieren und andere Präparate wie von Ponys und Kaltblütern aussortiert wurden, sollte dies aber der Fall sein. Der relativ große Anteil der Klasse 4 könnte jedoch durch die Selektion auf Schlachttiere zustande kommen. Eine chronische Lahmheit ist ein häufiger Grund für eine Euthanasie oder Schlachtung.

### **7.1.3 Röntgentechnik**

Es wurde ein zum Boden paralleler Strahlengang für die Oxspringaufnahme gewählt. Dieser wurde für alle Aufnahmen gewählt. Ein an die Trachtenhöhe angepasster Strahlengang mit bis zu 5° Neigung nach distal hätte bessere Aufnahmen liefern können (Ueltschi 2002). Der

horizontale Strahlengang ist der am weitesten verbreitete und im Alltag der gebräuchlichste (Rheiner 2010, Coomer et al. 2013). Die Nutzung von zwei verschiedenen Winkeln hätte auch zur besseren Befundung beitragen können, da sich manche Veränderungen in einem speziellen Winkel besser zeigen, als in einem anderen (Dyson 2011). Der Zentralstrahl wurde auf einen Punkt ca. 2 cm proximal des Kronrandes gerichtet (Rheiner 2010).

Auf ein Streustrahlenraster wurde verzichtet. Diese Überlegung beruht einerseits auf der Feststellung der Arbeit von Rheiner (2010), die ein Streustrahlenraster bei der Nutzung eines digitalen Speicherfoliensystems für verzichtbar hält. Des Weiteren konnte durch die Nutzung eines empfindlichen DR-Systems die gesamte Belichtung um ein Vielfaches niedriger gewählt werden. Dies führte auch zu einer deutlichen Verringerung von Streustrahlen. Die kurze Belichtungszeit von nur 0,12s ist auch für die Praxis geeigneter als die 1,2s in der Arbeit von Rheiner (2010). Durch die Nutzung einer sehr kurzen Belichtungszeit können in der Praxis Bewegungsartefakte und so auch Wiederholungsaufnahmen vermieden werden.

Neben der Verringerung der Gesamtstrahlendosis würde das Einblenden auf den Interessenbereich die Streustrahlung deutlich verringern (Ueltschi 2002). Eine solche Einblendung hätte die Detailtreue noch fördern können. Auf diese Einblendung wurde aus zwei Gründen verzichtet. Der erste ist die schon oben beschriebene geringe Gesamtstrahlendosis. Der zweite und entscheidende Grund ist, dass im RÖLF eine Darstellung des gesamten Huf- und Kronbeins gefordert wird. Da es in dieser Arbeit um die reine Strahlbeindiagnostik geht, wäre eine Einblendung sinnvoll gewesen. Die Verwendung von Röntgentuben wäre ebenfalls bei der reinen Strahlbeindiagnostik eine Möglichkeit, Streustrahlen zu verringern.

In der Arbeit wurde ein Oxspringklotz mit 60° verwendet. In der Arbeit wird der Winkel von 60° als aussagekräftigster festgestellt. Aber auch ein Klotzwinkel von 55° bietet zufriedenstellende Ergebnisse und wird empfohlen (Ueltschi 2002).

Der Winkel der Skylineaufnahme betrug 55°. In der Literatur sind verschiedene Winkel angegeben. So war der ursprüngliche Standard 45° (Morgan 1973, Coomer et al. 2013). Aber es sind auch Winkel von 55° und mehr möglich (Ueltschi 2002). So sind auch im deutschsprachigen Raum Winkel zwischen 45° und mehr üblich (Hertsch und Höppner 1999). Der mit 55° festgelegte Winkel erwies sich bei einigen Aufnahmen als ungeeignet. Besonders bei den Kontrastmittelaufnahmen wäre es sinnvoll, die Winkel zu optimieren bzw. Aufnahmen verschiedener Winkel anzufertigen. Dies beruht auf der Tatsache, dass je nach Trachtenhöhe

die Facies flexoria unterschiedlich zum Boden gewinkelt ist. Da diese Arbeit an Präparaten durchgeführt wurde, ist eine Bestimmung eines optimalen Winkels nicht sinnvoll, da sich dieser wahrscheinlich durch die Lastaufnahme bei lebenden Pferden ändert.

Für die Röntgenaufnahmen wurde das System Mark III der Firma Eklin® verwendet. Wie oben beschrieben, sind die optischen Auflösungen von DR-Systemen denen feinzeichnender konventioneller Folien und sehr guten Speicherfolien (noch) unterlegen. Die verwendete Anlage besitzt einen Pixelabstand von 160µm, dies würde in einer direkten Umrechnung ca. 3,15 LP/ mm entsprechen. Dies widerspricht der Forderung von (Ueltschi 2002a) sehr feinzeichnende oder Mammographiefilme zu benutzen. In vergleichbaren, noch mit konventionellen Filmen durchgeführten Untersuchungen, wurden Filme mit ca. 3,4 LP/mm (De Clercq et al. 2000) und theoretisch 10 LP/mm Film plus 300 Trimax Verstärkerfolie (Würfel und Hertsch 2005) benutzt. Der direkte Vergleich von konventionellen und CR-Systemen erbrachte, dass die CR-Bilder überlegen waren (Rheiner 2010). Ein direkter Vergleich von DR- und CR-Systemen bei der Untersuchung der distalen Pferdegliedmaße liegt nicht vor. Ein Versuch, bei dem der dritte Carpalknochen eines Pferdes untersucht wurden und die Bilder anschließend ausgedruckt wurden, zeigte keinen Unterschied zwischen konventionellen und DR- Aufnahmen (Moorman et al. 2009). Aus der Humanmedizin ist jedoch bekannt, dass trotz der geringeren theoretischen Auflösung DR-Systeme in den meisten Fällen besser zu befundene Bilder liefern (Kotter und Langer 2002, Cowen et al. 2008). Das Mark III ist ein verhältnismäßig altes DR-System von 2010. Aktuelle Detektorplatten wie die CXDI-801C von Canon® haben Auflösungen von 4LP/mm und noch größere Empfindlichkeit sowie bessere Auswertungsroutinen. So wird sich in den nächsten Jahren die DR-Technik weiter durchsetzen und noch qualitativere Bilder liefern.

#### **7.1.4 Präparation und Klasseneinteilung**

Als Vergleich wurde die makroskopische Präparation für diese Arbeit gewählt. Es ist bekannt, dass geringe Veränderungen, die schon als Pathologie betrachtet werden können, nur histologisch erkennbar sind (Komosa et al. 2014). In der einzigen vergleichbaren Arbeit teilten Würfel und Hertsch (2005) die Präparationen nach verbalen Beschreibungen ein. In dieser Arbeit wurden die gleichen Kriterien benutzt. Diese wurden jedoch zu einem Punktesystem transformiert, um besser gewichtete und objektivere Aussagen zu treffen. Die anschließende Einteilung in Gruppen spiegelt jedoch in etwa die gleichen Befunde wieder.

Die Einteilung in Klassen ist immer eine Vereinfachung, bei der auch Informationen verloren gehen können. Es ist jedoch auch ein sinnvolles Werkzeug, um Ergebnisse zu ermitteln. Gerade in den Randbereichen stellt sich die Frage, ob die höhere oder niedrigere Klasse gewählt werden soll. Der RÖLF löst dieses Problem durch das Einführen von Zwischenklassen. Auf dieses Instrument wurde in dieser Arbeit verzichtet und gewisse Unschärfen am Rand der Klassen akzeptiert. Dabei zeigte sich die Einteilung in vier Klassen in dieser Arbeit als geeignet. Die Berechnung der Klassen wurde an die Bedeutung der einzelnen Befunde durch Faktoren angepasst. Diese Faktoren wurden nach der aktuellen Literatur ausgewählt. So beeinflussten Merkmale, die von mehreren Autoren als pathologisch angesehen wurden, das Ergebnis mehr als andere Merkmale.

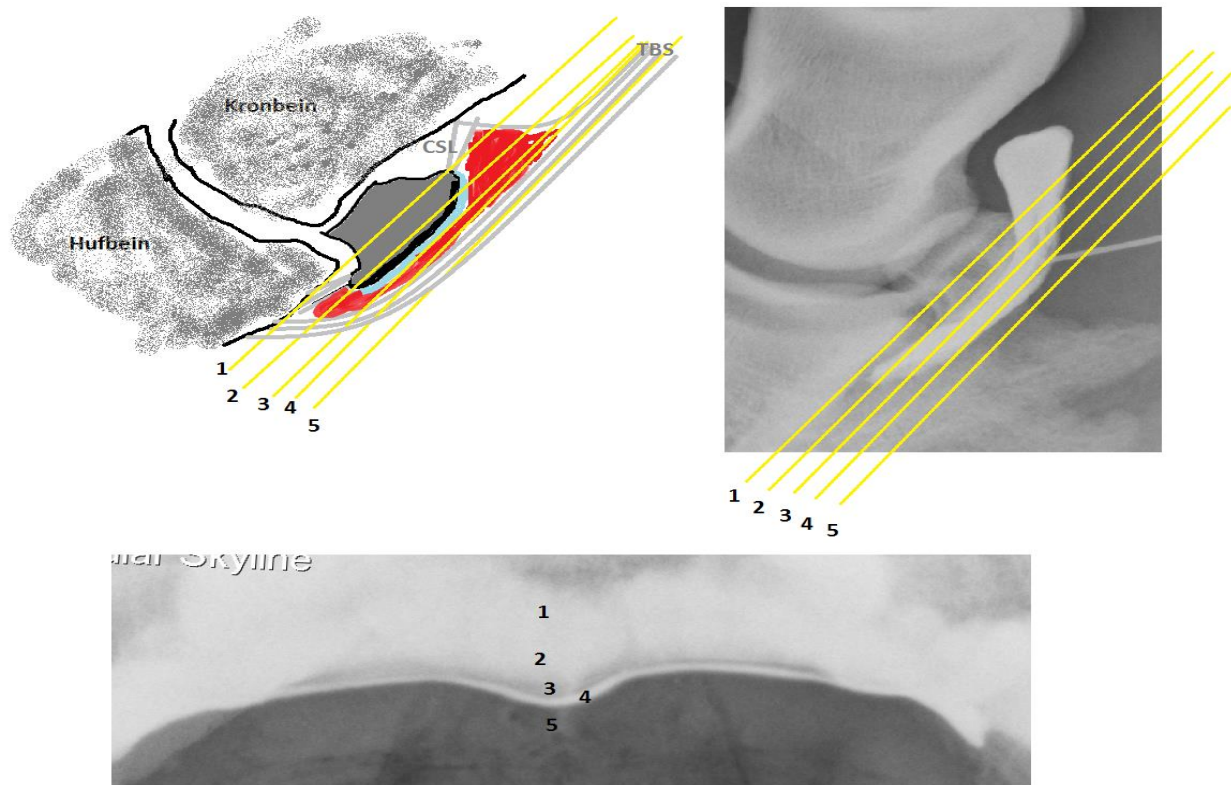
## **7.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **7.2.1 Qualität der Aufnahmen**

Trotz sorgfältiger Vorbereitung der Präparate und genauer Einhaltung des Versuchaufbaus waren ca. 10 bis 15% der Aufnahmen nicht einwandfrei. Ein häufiges Problem war die Verschmutzung der Präparate. So ist die von Oxspring (1935) und Ueltschi (2002) geforderte gründlicher Vorbereitung der Hufe vor den Aufnahmen unbedingt erforderlich. Es wurden für alle Aufnahmen immer die gleichen Winkel genommen. Dies führte bei einigen Präparaten dazu, dass die Abbildung der Strukturen nicht optimal war. Besonders die beiden Tangentialaufnahmen waren davon betroffen. In einigen Fällen waren diese nur sehr schwer auswertbar. Des Weiteren benötigt der Praktiker einen speziellen Skylinetunnel und ein spezielles Röntgenstativ für die Anfertigung dieser Aufnahme. Einige Pferde stehen auch nicht gerne auf dem Skylinetunnel. So ist diese Aufnahme im Vergleich zur Oxspringaufnahme mit mehr Aufwand verbunden. Die Abbildung der Strahlfurchen stellte bei den Oxspringaufnahmen ein Problem dar. Bei den Kontrastmittelaufnahmen kam es zur Bildung von Luftblasen. Diese Blasen entstanden durch Luft in der Applikationsspritze und verschlechterten die Auswertbarkeit des Bildes. Deshalb muss bei der Vorbereitung unbedingt beachtet werden, dass sämtliche Luft aus der Spritze entfernt wird. Dass diese Prozedur an einem lebenden Pferd unter sterilen Bedingungen erfolgen muss, ist selbstverständlich.

### 7.2.2 Punktion der Bursa und Technik der Bursographie

Die Durchführung der Punktion der Bursa podotrochlearis wurde in 96 Fällen durchgeführt. Die Punktion erfolgte wie von Schumacher et al. (2013) und Wissdorf (2010) beschrieben. Dies führte in 95 Fällen zur ausschließlichen Füllung der Bursa podotrochlearis. Das Vorgehen war bei genauer Einhaltung der Beschreibung nicht aufwendig oder schwer zu erlernen. Aus Einstichtiefe und Widerstand konnte man Rückschlüsse auf den korrekten Sitz der Nadel schließen. So merkte man bei korrektem Sitz der Nadel einen harten aber ggr. nachgebenden Widerstand nachdem man ca. zwei Drittel der 90mm langen Nadel vorgeschoben hatte. Eine Kontrollaufnahme vor und nach der Applikation war unverzichtbar. Einerseits wurde die korrekte Platzierung überprüft, andererseits wurde eine Verbindung der Bursa podotrochlearis zum Hufgelenk ausgeschlossen. Während der Untersuchung zeigte sich beim Untersucher eine deutliche Lernkurve. Es wurden am Anfang der Untersuchung ca. 1,4 Korrekturversuche pro Bein benötigt. Am Ende waren es mit 0,72 Korrekturen pro Bein nur noch die Hälfte.



**Abbildung 54:** Schematische Darstellung des Strahlenganges; 1 Mark des OSN; 2 Kompakta OSN; 3 Aufhellung durch Faserknorpel; 4 Kontrastmittelsäule; 5; deutliche Aufhellung durch TBS, die gelben Linien stellen den schematischen Strahlenverlauf da

Bei 20 Skyline-Kontrast-Aufnahmen zeigten sich deutlich die „drei Linien“ bzw. fünf Abschnitte wie in Abbildung 54. Bei 38 Aufnahmen waren diese Linien nur undeutlich zu erkennen. Wie in Abbildung 54 zu sehen ist, gibt es nur eine sehr kleine Toleranz für die gewünschte Projektion. Daraus kann man schließen, dass der Faserknorpel nur gut beurteilbar ist, wenn die Aufnahme im richtigen Winkel angefertigt wurde. Bei sehr tiefen Erosionen und Defekten in der TBS ist die Toleranz etwas größer. Daraus ergibt sich das Problem, dass die Probenanzahl für das wichtige Merkmal SK7 leider sehr gering war. Es zeigte sich jedoch, dass hgr. Abweichungen an lokalen Stellen sicher Knorpeldefekte identifizierten. Die von Turner (1998) durchgeführte genaue Vermessung der Dicke der mittleren Linie (Linie 3 in Abb. 44), um die Dicke des Faserknorpels auszumessen, wurde nicht durchgeführt. Diese Methode würde jedoch besonders bei frühen Veränderungen sinnvoll sein. Eine sehr frühe Veränderung ist die Verminderung der Dicke des Faserknorpels. Hier sind sicher weitere Untersuchungen mit besseren Aufnahmen notwendig. Die Annahme von Würfel und Hertsch (2005), dass diese Linien Kontrastmittel ist, welches in das Paratendineum gelaufen ist, ist nicht nachvollziehbar. Die Abbildung 54 zeigt eine mögliche Erklärung, wie dieses typische Bild zustande kommt. Es zeigten sich auch bei aufgefaserter Sehnen teilweise die typischen „Drei Linien“. An diesen Stellen sollte es nicht möglich sein, dass Kontrastmittel in das Paratendineum läuft, wie von Würfel und Hertsch (2005) behauptet. Des Weiteren fehlt präparierten Pferdebeinen die Last des Pferdekörpers, so kann sich das Bild in vivo noch einmal anders darstellen.

Aufgrund neuerer Techniken wie MRT ist die Technik der Bursographie leider zu wenig untersucht und es gibt nur wenige Publikationen darüber (Turner 1998, Würfel und Hertsch 2005, Turner 2013). Deswegen sind die oben Untersuchungsergebnisse nur für die hier ausgewählten Bedingungen gültig. Die eigene Untersuchung wurden an Beinpräparaten durchgeführt. Eine Belastung mit dem Körpergewicht des Pferdes könnte die Ergebnisse beeinflussen. Bei ersten Bursographien durch den Autor an lebenden Pferden, zeigten sich die Bilder deutlich besser bewertbar als an den Präparaten. Es wurde außerdem 3 ml Kontrastmittel anstatt wie üblich ein Gemisch von 1,5ml Kontrastmittel und 1,5ml Therapeutikum oder Lokalanästhetikum verwendet. Die Befunde, die erhoben wurden, wurden teilweise von Turner (2013 und 1998) übernommen. Weitere Studien könnten zeigen, dass es noch weitere Merkmale auf den Bursogrammen gibt. Diese Merkmale könnten zum Beispiel die Ausdehnung und die Oberfläche der Bursa betreffen. Eine Winkeloptimierung bzw. das Anfertigen von Projektionen aus verschiedenen Winkeln könnte ebenfalls die

Ergebnisse noch einmal verbessern. Solche Arbeiten existieren aber nur für die nativen Oxspringaufnahmen (Rheiner 2010).

### 7.2.3 Auswertung der Röntgenbilder

Die in dieser Arbeit errechneten Korrelationen und die Übereinstimmung zwischen den einzelnen Einstufungen und der Bewertung der Hufrollen waren im unteren Niveau. So konnte für die Klasseneinteilung ein gewichteter Kapa für; die Oxspringaufnahme von  $k=0,349$ , für die Skylineaufnahme von  $k=0,305$ , für die Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme von  $k=0,358$  und die Skyline-Kontrast-Aufnahme von  $k=0,455$  ermittelt werden. Diese Werte zeigen, dass eine geringe Übereinstimmung zwischen den jeweils eingeteilten Gruppen herrscht. Wenn man die Gruppeneinteilung unterlässt und die absoluten Punktzahlen vergleicht, ergeben sich folgende Korrelationen nach Spearman für die Oxspringaufnahme von  $p=0,305$ ; für die Skylineaufnahme von  $p=0,281$ ; für die Oxspring-Kontrast-Aufnahme von  $p=0,388$  und die Skyline-Kontrast-Aufnahme von  $p=0,532$ . Auch hier sind die Korrelationen bis auf die bei der Skyline-Kontrast-Aufnahme sehr schwach ausgeprägt. Eine Unterscheidung von geringgradigen und mittelgradigen Veränderungen durch die konventionellen Aufnahmen ist daher nicht sinnvoll.

Die geringen Korrelationen bedeuten aber nicht, dass einzelne Aufnahmen sinnlos und nicht aussagekräftig sind. Bei einer weiteren Vereinfachung bei den Befunden auf lediglich positiv und negativ, sowohl bei den Röntgenbildern als auch bei den Hufrollenbefunden, zeigen die Röntgenbilder eine gute Spezifität. Es ergaben sich Spezifitäten für die Oxspringaufnahmen von 92,5%, Skylineaufnahmen 91,0%, Oxspring-Kontrast-Aufnahmen 89,6% und 80,3% für die Skyline-Kontrast-Aufnahme. Dabei liegt die Sensitivität für hochgradige Veränderungen an der Hufrolle für die nativen Aufnahmen bei 62,5% und für die Kontrastaufnahmen bei 81,25%. Daraus ergibt sich, dass vorhandene Röntgenbefunde, die nach einem objektiven Schema erstellt wurden, sehr spezifisch sind. Ein Fehlen von pathologischen Röntgenbefunden schließt eine Erkrankung der Hufrolle nicht aus, da Weichteilstrukturen betroffen sein können oder die Knochenveränderungen zu gering sind (Widmer et al. 2000). Die Bursographie kann dabei Veränderungen zeigen, die ohne Kontrastmittel nicht zu erkennen sind.

Um die Aussagefähigkeit der Röntgenbilder zu erhöhen, wurden die Auswertungen der verschiedenen Aufnahmen im Zusammenhang untersucht. Dabei zeigte sich, dass kein makroskopisch unverändertes Strahlbein mehr als einen positiven Röntgenbefund hatte. 14

der 18 hochgradig veränderten Strahlbeine wies dagegen zwei und mehr veränderte Befunde auf. Dieses Ergebnis zeigt einerseits die Bedeutung von verschiedenen Aufnahmemodalitäten und unterstreicht die Forderung, dass für eine komplette Abklärung des Strahlbeins die Oxspring-, Skyline- und eine laterale Aufnahme anzufertigen sind (Ueltschi 2002, Dyson 2011). Auf die laterale Aufnahme wurde in dieser Arbeit verzichtet. Wie in vorherigen Untersuchungen (Seyrek-Intas et al. 1999, Widmer et al. 2000) zeigte sich auch hier, dass einige mgr. bis hgr. pathologisch veränderte Präparate nur ggr. Röntgenbefunde aufwiesen. Ca. 30% der gesunden Pferde weisen auffällige Röntgenbefunde auf (Seyrek-Intas et al 1999). 14 der 39 Präparate, die als gesund gewertet wurden, hatten ebenfalls in mindestens einer Projektion einen mit 3 oder 4 bewerteten Befund. Da in dieser Arbeit ein objektives und gewichtetes Scoring durchgeführt wurde, konnten falsch positive Befunde teilweise vermieden werden. Die Methode mehrere Befunde zu erheben und diese dann zu addieren, erhöhte die Spezifität deutlich. Dieses Verfahren beachtet die Erkenntnis, dass Pferde die an Podotrochlose erkrankt sind, meist mehrer Veränderungen auf den Röntgenbildern aufweisen (Seyrek-Intas 1999). Die Tabelle 63 fasst die Testkriterien zusammen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein pathologischer Befund der auf mehreren Aufnahmen zu sehen ist, sehr spezifisch ist. Die Summe der Röntgenklassen korreliert sehr gut mit den Punkten der Präparation. Es wurde ein Korrelationskoeffizient nach Spearman von  $p=0,554$  errechnet. Die Sensitivität der einzelnen Aufnahmen ist akzeptabel. Wenn jedoch alle Aufnahmen zusammen betrachtet werden, steigt die Sensitivität auf 86,2%, wenn auf einer Aufnahme ein positiver Befund gefunden wird. Dabei sinkt natürlich die Spezifität deutlich auf 60,6%. Daraus kann man schließen, dass ein pathologischer Röntgenbefund (egal auf welcher Aufnahme) und eine entsprechende Anamnese und Klinik, eine gute Aussage über den Status der Hufrolle liefern. Dies bedeutet jedoch nicht, dass man von einem fraglichen bzw. positiven Röntgenbefund ohne Klinik, auf den Zustand des Hufrollenapparates direkte Rückschlüsse ziehen sollte. Ebenfalls sollte bei einem röntgenologisch unauffälligem Pferd mit verdächtigen klinischen Anzeichen eine Hufrollenerkrankung nicht ausgeschlossen werden.

Dieser Punkt ist besonders für die Beurteilung von Röntgenbildern von Verkaufspferden zu beachten. Da im RÖLF nur die Oxspringaufnahme (und eine seitliche Übersichtsaufnahme, auf der das Strahlbein nicht beurteilbar ist (Dyson 2011)) gefordert ist, bietet es sich an, bei fraglich positiven Befunden eine Skylineaufnahme (und/ oder eine auf das Strahlbein zentrierte seitliche Aufnahme) anzufertigen. Ist der Befund auf der zweiten Ebene ebenfalls zu sehen, ist die Hufrolle mit sehr großer Wahrscheinlichkeit verändert. Die Forderung, nur mit der Oxspringaufnahme den Zustand der Hufrolle korrekt einzuschätzen, ist somit sehr schwer



möglich. Eine Vereinfachung, wie in dieser Arbeit geschehen, auf zwei Zustände, nämlich verändert oder unverändert wäre als Schlussfolgerung dieser Arbeit ebenfalls sinnvoll. Es zeigten sich besonders viele morphologisch unveränderte Präparate in der Röntgenklasse 2-3 (23 von 39, 58,97%). Da die Röntgenklasse 2-3 den Normal- bis Akzeptanzzustand darstellt, ist dies fachlich gesehen auch kein Problem, verunsichert jedoch potenzielle Pferdekäufer. Es zeigte sich aber ebenfalls, dass 17 Beine in die Röntgenklasse 3, 3-4 und 4 eingeordnet wurden, auch mittel- bis hochgradig verändert waren und 9 von 67 (13,43%) makroskopisch unauffällige Beine in diesen Klassen nach RÖLF bewertet wurden. Es waren aber auch wieder 12 makroskopisch mittel- bis hochgradig veränderten Beinpräparate, die keine Anzeichen im konventionellen Röntgen aufwiesen. Dies sind 41,38% und somit etwas höher als die 30% von Seyrek-Intas, Tellhelm et al. (1999), was jedoch auf die Verwendung von Schlachtbeinen zurückzuführen sein könnte. Diese Zahl relativiert sich jedoch, wenn man davon ausgeht, dass viele Pferde die ein Problem in der Hufrolle, wie z.B. in der tiefen Beugesehne, haben, wahrscheinlich in der klinischen Untersuchung durchfallen. Dies betont die Wichtigkeit der gewissenhaft durchgeführten Ankaufsuntersuchung. Diese sollte Beugeproben, evtl. Keilprobe und Longieren auf einem harten und weichen Zirkel enthalten. Der Bewertung des aktuellen Beschlages, der Klinik und der bisherigen Leistung des Pferdes sollten dann größere Bedeutung beigemessen werden, als ggr. Veränderungen auf dem Röntgenbild. Die Forderung einiger Käufer einer Art „Garantie“ „dass das Pferd lange halten wird, kann natürlich durch keine Untersuchung erfüllt werden. Da ein Sehnenschaden im Bereich der Hufrolle durch ein Trauma entstehen kann (Robinson 2008), kann ein Pferd kurze Zeit nach einer unauffälligen Ankaufsuntersuchung am „equine palmar foot syndrome“ erkranken.

Die in Tabelle 63 zusammengefassten Kriterien stimmen mit der Arbeit von Seyrek-Intas (1999) überein. Unter Verwendung von allen drei Aufnahmen fand sie heraus, dass 10,4% der gesunden Pferde ein positives Gesamturteil erhielten und 30,4% der als an Podotrochlose erkrankten, ein negatives Gesamturteil aufwiesen. In dieser Arbeit wurde das Gesamturteil in drei Klassen eingeteilt: positiv, verdächtig und negativ auf Podotrochlose. Es wurde nicht zwischen den einzelnen Aufnahmen unterschieden. Gerade die Gruppe der verdächtigen stellt ein großes Problem dar. So waren 29,0% der an Podotrochlose erkrankten und 26% der nicht an Podotrochlose erkrankten, in dieser Gruppe. Um diese große Gruppe weiter zu untersuchen, wäre die Bursographie (oder MRT) eine geeignete Methode.

**Tabelle 63: Testkriterien zur Abgrenzung der Hufrollenklassen 1/2 und 3/4**

Aufnahme	Sensitivität	Spezifität	Summe	positiver prädiktiver Wert	negativer prädiktiver Wert	Summe
Oxspring	51,7	92,5	147,2	75,0	81,6	156,6
Skyline	44,8	91,0	135,8	68,4	79,2	147,6
Oxspring- Kontrast	55,2	89,6	144,8	70,0	82,2	152,2
Skyline-Kontrast	72,4	80,3	152,7	61,8	86,9	148,7
1 positiver Befund	86,2	60,6	146,8	49,0	90,9	139,9
2 positive Befunde	62,1	93,9	156	81,8	84,9	166,7
3 positive Befunde	41,4	100	141,4	100	79,5	179,5
4 positive Befunde	34,5	100	134,5	100	77,6	177,6

#### 7.2.4 Spezielle Merkmale der Bursographie

Das Merkmal KO2 (Anreicherung von KM in der Oxspringaufnahme) ist für die Beurteilung von Sehnenrissen, die mit der Bursa in Kontakt stehen, geeignet. Es wurden 7 der 10 Sehnenrisse in der Dorsalfläche gefunden. 9 der 17 Auffaserungen der tiefen Beugesehne konnten ebenfalls erkannt werden. Das Merkmal SK1 (Grenzfläche des Kontrastmittelfadens in der Skylineaufnahme) ist ein Merkmal oberflächliche Sehnenrisse auf der Dorsalseite nachzuweisen. So wurden 9 der 10 Risse detektiert. 6 von 16 Auffaserungen der TBS ließen sich ebenfalls darstellen. Dieser Punkt ist von Besonderer Bedeutung, da 21,6% der Pferde mit Schmerzen im palmaren Hufbereich lediglich Schäden an der TBS in diesem Abschnitt haben (Dyson und Murray 2007). Diese bleiben zwangsläufig in der konventionellen Radiographie unentdeckt. Es wurden 8 von 29 (27,59%) der mittel- bis hochgradig veränderten Hufrollen nur mit Kontrastmittel entdeckt. Tabelle 64 zeigt, dass 7 dieser 8 Präparate Schäden an der Oberfläche der TBS aufwiesen. Diese Zahl spiegelt den Prozentsatz an gefundenen TBS Schäden von Dyson and Murray (2007) . Tabelle 64 zeigt, dass alle Beine die, in eine schlechte makroskopische Klasse eingeordnet wurden und keine großen Veränderungen an den nativen Aufnahmen aufwiesen, Veränderungen an der TBS-Oberfläche aufwiesen. Ob bei einer solchen Veränderung schon von Podotrochlose gesprochen werden kann oder Veränderungen an der TBS als eigene Erkrankung gewertet sollten (Dyson et al. 2011), ist streitbar. Es ist jedoch unbestritten, dass diese Veränderungen pathologisch und mit Schmerzen verbunden sind (Wright et al. 1998, Blunden et al. 2006). In hochgradig veränderten Präparaten wiesen sowohl die TBS als auch der Knorpel der Facies flexoria

Veränderungen auf. Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus MRT-Untersuchungen, dass 32,9% der Pferde mehrfache Läsionen besitzen (Dyson and Murray 2007).

**Tabelle 64: Präparate die nur in den Kontrastmittelaufnahmen detektiert wurden**

Merkm al	Summe Oxspri ng	Summe Skyline	KO1	KO2	Sk1	Sk2	A14	A17
Numm er			Füllung gleich- mäßig	KM- Ansamm- lung	Grenz- fläche	Füllung gleich- mäßig	TBS- Ober- fläche	TBS- Metaplas- ie
64011	0	1	2	2	1	2	2	2
53770	0	2	0	0	2	2	2	3
19704	0	4	2	2	2	2	2	3
44900	3	0	2	0	3	3	3	3
61114	0	2	1	1	2	2	2	3
30114	1	3	0	0	1	2	1	3
25830	0	5	2	2	1	2	2	3

Verwachsungen und Verklebungen zwischen OSN und TBS stellen einen häufigen Befund bei hochgradig veränderten Hufrollen da (Dyson, Murray et al. 2011). Das Merkmal KO3 (Aufhellungen im Kontrastmittelfaden in der Oxspringaufnahme) ist ein Röntgenbefund, der Verwachsungen und Verklebungen der tiefen Beugesehne mit dem Strahlbein anzeigt. So wurden 7 der 8 Verwachsungen und 2 der 3 Verklebungen zwischen OSN und TBS dargestellt. Es waren aber auch alle Verwachsungen mit hochgradigen Knorpelschäden und Veränderungen im subchondralen Knochen verbunden. So konnte man eine schwere Veränderung schon im nativen Röntgenbild vermuten. In Tabelle 65 ist zu erkennen, dass zwei der drei Verklebungen nur ggr. bis gar keine Veränderungen im nativen Röntgenbild lieferten. Ob das direkte Darstellen der Verwachsung/ Verklebung für die Zukunft des betreffenden Pferdes eine entscheidende Rolle spielt, ist fraglich, da fast alle diese Präparate verheerende Befunde in der Hufrolle aufwiesen. Jedoch könnte in diesen Fällen eine Bursographie eventuelle Restzweifel beseitigen und den Nervenschnitt oder die Euthanasie rechtfertigen.

Es ist ebenfalls aus Tabelle 65 zu entnehmen, dass alle Verwachsungen und Verklebungen Veränderungen an der Grenzfläche des Kontrastmittelfadens aufwiesen. So ist die Skylineaufnahme der Bursographie ebenfalls geeignet, solche Veränderungen dar zu stellen.

Das Merkmal KO2 ist, bei deutlicher Ausprägung, ein sicheres Indiz für einen Knocheneinbruch der Facies flexoria. Im Gegensatz zu einem Riss in der Oberfläche der TBS stellt sich die Kontrastmittelsammlung dann rundlich dar. Dies ist besonders gut in den

Beispielbildern aus Kapitel 4.8.3 und 4.8.4 zu sehen. So zeigten sich 7 der 10 Knorpel einbrüche als rundliche Verschattungen in der Oxspringaufnahme.

**Tabelle 65: Präparate mit Verwachsungen (A15:3) oder Verklebung (A15:2) zwischen der TBS und OSN**

Merkmal	Summe Oxspring	Summe Skyline	KO3	Sk1	A15
Nummer			Aufhellung im KM-Faden	Grenzfläche KM-Faden	Verwachsung/Verklebung
53770	0	2	0	2	2
19704	0	4	2	2	2
35796	20	13	3	2	3
76015	20	15	3	3	3
70411	19	12	3	3	3
25112	18	14	3	1	3
32007	17	19	3	3	3
81400	8	8	2	3	2
62514	19	19	0	3	3
75527	14	15	2	3	3
77552	11	15	3	3	3

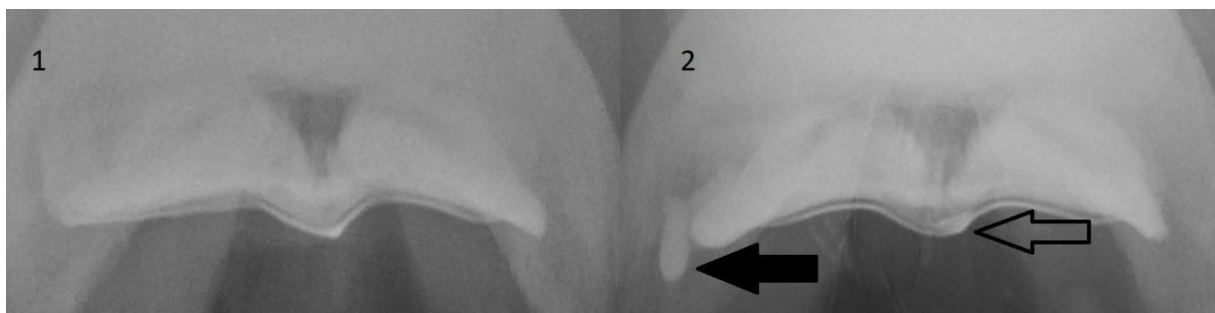
Ein großes Problem ist in dieser Arbeit das Merkmal Sk6 und 7. Hierbei handelt es sich um die typischen Linien die sich in der Skylineaufnahme mit Kontrastmittel darstellen sollen. Bei nur 20 der 96 Beine stellten sich die drei Linien deutlich da. Bei 34 weiteren Beinen waren die Linien undeutlich zu erkennen. Wenn die mittlere Aufhellung ein Schatten des Faserknorpels ist (Turner 1998), entsteht die Frage, ob es sich beim Ausbleiben dieser Linie um einen Projektionsfehler oder einen tatsächlichen Knorpelschwund handelt. In der Arbeit wiesen 10 von 51 Beinen die schlechteste Bewertung der drei Linien auf. Alle diese Beine waren auch in der makroskopischen Präparation verändert. Wie bei der Vermessung der Rindendicke der Facies flexoria in der Skylineaufnahme (De Clercq 2000) hat der Winkel, in dem die Skylineaufnahme geschossen wurde, einen großen Einfluss auf die Dicke der Linien. Da die mittlere Aufhellungslinie laut Turner (1998) die Dicke des Faserknorpels darstellt, wäre hier besondere Aufmerksamkeit nötig. Die Verdünnung des Faserknorpels stellt ein mögliches sehr frühes Symptom der Podotrochlose dar. Die Einteilung des Merkmales SK7 in lediglich drei Klassen ist ein großes Problem in dieser Arbeit und war auch ursprünglich nicht vorgesehen. Während der Untersuchung zeigte sich jedoch, dass eine weitere Unterscheidung in vier Klassen kaum möglich war. Deswegen sollten unbedingt noch weitere Versuche folgen, die den direkten Zusammenhang zwischen Winkel der Tangentialaufnahme, Dicke der Linien und histologische Dicke des Faserknorpels herstellen. Des Weiteren muss unbedingt betont werden, dass diese Arbeit an isolierten Beinen durchgeführt wurde. Die

physiologischen Lastverhältnisse konnten durch die benutzte Halterung nicht nachempfunden werden. Aus der Erfahrung von ersten eigenen Bursographien an lebenden Pferden, zeigte sich, dass die Bilder deutlich besser beurteilbar waren. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 55.

Eine Möglichkeit, die Oberfläche der TBS und den Knorpel der Facies flexoria noch genauer einzuschätzen, wäre die Bursographie mit einem CT. Durch eine solche Untersuchung könnten genaue Erhebungen über die Knorpeldicke erhoben werden und die Merkmale mit den Röntgenbildern verglichen werden. Diese Untersuchung wird jedoch wieder einigen wenigen Spezialfällen vorbehalten sein. Wenn ein Schnittbildverfahren durchgeführt wird, sollte nämlich das MRT-Verfahren den Vorzug erhalten.

### 7.2.5 Klinisches Beispiel

In der Klinik wurde ein 12 jähriger Wallach vorgestellt. Er zeigte seit Kurzem eine Unwilligkeit am Sprung, die vorher nie auftrat. In der Klinik zeigte er eine Lahmheit 1/5 vorne rechts. Diese Lahmheit wurde deutlicher auf einem harten Zirkel rechte Hand. Die TPA 1 vorne rechts war positiv mit einer Lahmheitsumkehr auf vorne links. Die Oxspring- und Skylineaufnahmen zeigten nur geringe Veränderungen. Nach Ablehnung zur Überweisung zum MRT und Aufklärung der Risiken wurde eine Injektion beidseits mit 1,0 ml Triamcinolonacetonid und 1,5 ml Kontrastmittel in die Bursa podotrochlearis vorgenommen. Anschließend wurden eine Oxspring- und Skylineaufnahme angefertigt. Vorne rechts ist eine deutliche Ansammlung von Kontrastmittel in der Linie des Faserknorpels zu sehen (hohler Pfeil). Dieses Bild zeigt eindeutig eine Beschädigung des Faserknorpels. Als Nebenbefund, welcher in dieser Arbeit nicht auftrat, ist eine Ansammlung von Kontrastmittel lateral der Bursa zu finden (ausgefüllter Pfeil). Dieser Befund ist laut Turner (2013) eine Schädigung des Strahlbeinhaltebandes.



**Abbildung 55: Tangentialaufnahmen nach Applikation von 1,0 ml Triamcinolonacetonid und 1,5ml Kontrastmittel, Bild 1: linkes Vorderbein, lateral ist links; Bild 2: rechtes Vorderbein vom selben Pferd, lateral ist links**

### 7.3 Schlussfolgerungen

1. Die Sensitivität für mittel bis hochgradige Veränderungen an der Hufrolle für die Oxspringaufnahme beträgt 51,7% bei einer Spezifität von 92,5%. Die Skylineaufnahme weist eine Sensitivität von 44,8% bei einer Spezifität von 91,0% auf.
2. Mit der Anzahl der Röntgenprojektionen erhöht sich die Sensitivität für Veränderungen an der Hufrolle. Mit den hier durchgeführten vier Projektionen betrug sie 86,2%. Wenn ein Bein auf mehr als einer Aufnahme als verändert bewertet wird, ist das Ergebnis zu 93,9% spezifisch.
3. Die Technik der Bursainjektion ist einfach und unter Praxisbedingungen durchführbar. Jede Punktion einer synovialen Einrichtung sollte sorgfältig abgewogen werden. Bei der Punktion der Bursa podotrochlearis kann die tiefe Beugesehne und der Knorpel der Facies flexoria verletzt werden.
4. Wenn die Bursa zur Anästhesie oder zu therapeutischen Zwecken punktiert wird, empfiehlt sich Applikation von Kontrastmittel. Einerseits kann die erfolgreiche Punktion festgestellt werden. Andererseits können mit wenig Aufwand die zwei zusätzlichen Aufnahmen angefertigt werden, die wertvolle Informationen bringen.
5. Veränderungen an der dorsalen Oberfläche der tiefen Beugesehne, wie Auffaserungen und Verwachsungen, können im Bursogramm dargestellt werden. Zusätzlich kann die Kommunikation von Sehnenrissen mit der Bursa sicher nachgewiesen werden.
6. Die Beschaffenheit des Knorpels kann bedingt bewertet werden. Tiefe Erosionen lassen sich sehr gut darstellen. Knorpelverdünnungen auf der Facies flexoria ließen sich in dieser Arbeit nur bedingt darstellen.
7. Die Bursographie kann Verfahren wie MRT und CT nicht ersetzen. Einige Veränderungen sind auf den Röntgenbildern nicht zu erkennen.
8. Die Erkenntnisse und das Wissen über die Bursographie sind noch sehr beschränkt. Weitere Studien sind nötig, um die Bedeutung und die Aussagekraft der Bursographie zu erhöhen. So könnte eine verbesserte Technik eine bessere Beurteilung des Knorpels und frühen Veränderungen erlauben.

## 8. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden radiologische Befunde der Oxspring- und Skylineaufnahme mit und ohne Kontrastmittel in der Bursa podotrochlearis mit den makroskopischen Befunden am Strahlbein und der tiefen Beugesehne von 96, isolierten Vordergliedmaßen von Schlachtpferden verglichen.

Es wurden von 96, im Karpalgelenk abgesetzten Vordergliedmaßen, die vier oben genannten Röntgenbilder angefertigt. Anschließend wurden das Paket aus tiefer Beugesehne und Strahlbein präpariert und makroskopisch auf pathologische Veränderungen untersucht. Die in der Präparation und in den Röntgenbildern erhobenen Befunde wurden in ein objektives Punktesystem eingeteilt und mit Faktoren angepasst. Aus diesen Punkten wurden die Präparate und Röntgenbilder in Klassen von eins (gesund) bis vier (hochgradig geschädigt) eingeordnet. Diese Klassen wurden miteinander verglichen. Es wurden noch einzelne Merkmale mit den für sie typischen Röntgenbefunden verglichen.

Die Auswertung zeigte, dass sich Befunde an mittelgradig und teilweise auch hochgradig veränderten Hufrollenpräparaten nur bedingt in konventionellen Röntgenprojektionen darstellen lassen. Diese Veränderungen wurden mit einer Sensitivität von 51,7% bei einer Spezifität von 92,5% in der Oxspringaufnahme festgestellt. In der Skylineaufnahme betrug die Sensitivität 55,2% bei einer Spezifität von 91,0%. Das Bursogramm ist eine einfache Möglichkeit, die Sensitivität der Röntgendiagnostik für pathologische Veränderungen an der Hufrolle zu erhöhen. So wurden zusätzlich vier der 29 mittel- bzw. hochgradig erkrankten Beine mit der Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel identifiziert, bei einer Spezifität von 89,6%. Mit der Skylineaufnahme mit Kontrastmittel wurden 7 erkrankte Beine mehr als mit den konventionellen Bildern ermittelt. Die Spezifität war dabei 80,3%. 4 der 29 veränderten Präparate wurden auf keiner Röntgenaufnahme als krank eingeteilt. Es wurden gewichtete Kapa für die Übereinstimmung der Gruppen von 0,349 für die Oxspringaufnahme, 0,280 für die Skylineaufnahme, 0,358 für die Oxspring-Kontrast-Aufnahme und 0,455 für die Skyline-Kontrast-Aufnahme berechnet.

Die Erhöhung der Sensitivität ließ sich auf das Darstellen von Oberflächen von Weichteilgeweben zurückführen. 9 von 10 Rissen in der Dorsalfläche der TBS, 7 von 8 Verwachsungen bzw. alle drei Verklebungen der TBS mit dem OSN ließen sich in der Skylineaufnahme mit Kontrastmittel darstellen. 6 von 10 Rissen in der Dorsalfläche der TBS

und 7 von 8 Verwachsungen der TBS mit dem OSN zeigten sich in der Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel. Tiefe Knorpeldefekte auf der Facies flexoria des Strahlbeins sich ebenfalls auf beiden Aufnahmen identifizieren. Mittelgradige Knorpelveränderungen, wie generalisierte Knorpelverdünnung ließen sich nicht sicher nachweisen. Die einzelnen Linien, die laut Literatur die Dicke des Faserknorpels widerspiegeln, waren sehr schwer auszuwerten und waren in nur 51 von 96 Röntgenbildern vorhanden. Alle 10 Präparate, in denen diese Linien deutlich unterbrochen war, waren mittel bis hochgradig verändert. Bei 3 von 19 Präparaten mit verändertem Knorpel wiesen, die drei Linien keine Veränderung auf. 13 von 20 unveränderten Hufrollenpräparate wiesen jedoch auch geringe Abweichungen bei der Beurteilung auf.

Beine, die auf mehr als einer Aufnahme einen positiven Befund hatten, waren zu 93,9% makroskopisch verändert. Die Summe der Röntgenklassen korreliert am besten mit der makroskopischen Bewertung. Es ließ sich ein Korrelationskoeffizient von 0,554 errechnen. Daraus lässt sich schließen, dass die Anfertigung von allen vier Bildern sinnvoll ist.

Bei einem klinischen Verdacht auf eine Hufrollenerkrankung ist die konventionelle Röntgenuntersuchung die Standarduntersuchung. Ergebnisse der konventionellen Röntgenaufnahmen sind nicht sehr sensitiv, aber sehr spezifisch. Bei eindeutig positivem Ausfall der konventionellen Bilder ist somit die Bursographie nicht notwendig. Bei fraglichen oder negativen Befunden, kann die Sensitivität durch die Bursographie gesteigert werden. Ein Befund, der auf mehr als einer Aufnahme bestätigt wird, ist sicher. Bei negativen Ergebnissen sollten andere Untersuchungen, wie eine MRT-Untersuchung, durchgeführt werden. So ist die Bursographie eine sinnvolle Ergänzung zur Diagnostik des Equine-palmar-foot-syndrome.



## 9. Summary

### **Comparison of the dorsoproximal-palmarodistal and palmaroproximal-palmarodistal oblique view of the navicular bone with and without contrast media in the navicular bursa in the front feet in the horse**

Radiographs from 96 isolated horse feet were compared with the anatomic preparation. A dorsoproximal-palmarodistal oblique and a palmaroproximal-palmarodistal oblique view were made. Each view was made with and without contrast medium in the navicular bursa. The pictures with contrast medium in the navicular bursa are called bursography.

The actual literature about the anatomy and physiology of the equine distal limb was reviewed. It has been also reviewed new insights about the osteoarthritis in science and the link to the equine palmar foot syndrome. At least there is a conclusion about the direct radiography systems and about the techniques in equine radiology.

There were taken four different radiographs of the distal front limb. After this step the feet were dissected to make a gross evaluation of the surface from the deep digital flexor tendon and the flexor surface of the os naviculare. For each view and the preparation there was made a objective scoring system for each mark. After this step, there was also a summarising category made from one for healthy to four for severe damage. This grading was made independent for each view. At least these categories and some special characteristics were compared.

The comparison showed, that some severe damaged navicular bones respectively deep digital flexor tendons do not show severe abnormalities in the classical x-ray picture. The x-ray picture with contrast medium in the navicular bursa improved the sensitivity for lesions in this area. The weighted kappa was determined: 0,349 for the dorsoproximal-palmarodistal oblique view, 0,358 dorsoproximal-palmarodistal oblique view with contrast medium, 0,280 for the palmaroproximal-palmarodistal oblique and 0,455 for the palmaroproximal-palmarodistal oblique with contrast medium.

Dorsal splits in the deep digital flexor tendon surface and adhesions between the flexor tendon and the navicular bone could be seen in the contrast enhanced views. The evaluation of early lesions, like thinning of the cartilage of the flexor surface from the navicular bone was questionable.

The addition from the objective scoring from all four views showed the best relation to the gross evaluation. There was a 0,554 spearman correlation coefficient between the summation of all x-ray categories and the gross evaluation. In addition to that, 93,9% who were graded in more than one view as 3 or 4, showed some severe pathology in the gross evaluation.

The standard views of the equine palmar foot have a very high specify. but a lack in sensitivity for pathologic changes in the navicular apparatus. Bursography is producing further information. But there are also lesions, which can not be seen in any x-ray projection. In these cases a magnet resonace tomography is necessary. So the bursography is a easy way to evaluate the podotrochlear apparatus of the horse if there is no MRI available.

## 10. Literaturverzeichnis

**Aaron, R. K., Dyke, J. P., Ciombor, D. M., Ballon, D., Lee, J., Jung, E., & Tung, G. A. (2007).** Perfusion abnormalities in subchondral bone associated with marrow edema, osteoarthritis, and avascular necrosis. *Skeletal Biology and Medicine, Pt B: Disease Mechanisms and Therapeutic Challenges*. Vol. 1117. S. 124-137.

**Adams, S. B., Moore, G. E., Elrashidy, M., Mohamed, A., & Snyder, P. W. (2010).** Effect of Needle Size and Type, Reuse of Needles, Insertion Speed, and Removal of Hair on Contamination of Joints with Tissue Debris and Hair after Arthrocentesis. *Veterinary Surgery*, 39(6), S. 667-673

**Aigner, T., Fundel, K., Saas, J., Gebhard, P. M., Haag, J., Weiss, T., Bartnik, E. (2006).** Large-scale gene expression profiling reveals major pathogenetic pathways of cartilage degeneration in osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism*. 54(11). S. 3533-3544.

**Bajayo, A., Bar, A., Denes, A., Bachar, M., Kram, V., Attar-Namdar, M., Bab, I. (2012).** Skeletal parasympathetic innervation communicates central IL-1 signals regulating bone mass accrual. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(38). S. 15455-15460.

**Barnewitz, D. (2015).** Zur Bedeutung der Matrix-Metalloproteinase 9 bei der Lahmheitsdiagnostik. *Praktische Tierarzt*, 96.

**Becht, S., Bittner, R. C., Ohmstede, A., Pfeiffer, A., & Roßdeutscher, R. (2008).** *Buch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik*: Springer Medizin Verlag Heidelberg.

**Bentley, V. A., Sample, S. J., Livesey, M. A., Scollay, M. C., Radtke, C. L., Frank, J. D., Muir, P. (2007).** Morphologic changes associated with functional adaptation of the navicular bone of horses. *Journal of Anatomy*, 211(5). S. 662-672.

**Benz, C. (2006).** *Röntgentechnik und -verordnung*. Buch. Elsevier, Urban & Fischer.

**Biggi, M., Blunden, T., & Dyson, S. (2013).** Can distal border fragments of the navicular bone be a primary cause of lameness? *Equine Veterinary Education*, 25(7). S. 347-351.

**Blunden, A., Dyson, S., Murray, R., & Schramme, M. (2006a).** Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 1: Navicular bone and related structures. *Equine Vet Journal*. 38(1). S. 15-22.

**Blunden, A., Dyson, S., Murray, R., & Schramme, M. (2006b).** Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 2: The deep digital flexor tendon. *Equine Vet Journal*. 38(1). S. 23-27.

**Blunden, A., Murray, R., & Dyson, S. (2009).** Lesions of the deep digital flexor tendon in the digit: A correlative MRI and post mortem study in control and lame horses. *Equine Vet Journal*. 41(1). S. 25-33.

**Bonewald, L. F., & Johnson, M. L. (2008).** Osteocytes, mechanosensing and Wnt signaling. *Bone*, 42(4). S. 606-615.

**Bos, H., van der Meij, G. J., & Dik, K. J. (1986).** Heredity of navicular disease. *Vet Quaterly*. 8(1). S. 68-72.

**Bowker, R. M., Rockershouser, S. J., Linder, K., Vex, K. B., Sonea, I. M., & Caron, J. P. (1994).** A Silver-impregnation and immunocytochemical study of innervation of the distal sesamoid bone and its suspensory ligaments in the horse. *Equine Vet Journal*. 26(3). S. 212-219.

**Boyle, W. J., Simonet, W. S., & Lacey, D. L. (2003).** Osteoclast differentiation and activation. *Nature*, 423(6937), S. 337-342.

**Breit, S. (1995).** Zur Anatomie von Hufgelenk und Bursa podotrochlearis beim Pferd im Hinblick auf ihre klinische Relevanz. *Pferdeheilkunde*, 11(2). S. 125-.

**Budras, K.-D. M., Christoph, Christiane Pfarrer, Sven Reese, Sabine Kölle. (2013).** Atlas der Anatomie des Pferdes, Buch, (Ausgabe 7), Schlütersche Verlag.

**Butler, C. C. M. (2000).** Clinical Radiology of the Horse, Buch, (Ausgabe 2), Blackwell Wissenschafts-Verlag.

**Butler, J., Colles, C., Dyson, S., Kold, S., & Poulos, P. (2011).** Clinical Radiology of the Horse, Buch, Wiley-Blackwell-Verlag.

**Cappariello, A., Maurizi, A., Veeriah, V., & Teti, A. (2014).** The Great Beauty of the osteoclast. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 558. S. 70-78.

**Carlto, R. A. M. A. (2012).** *Principles of Radiographic Imaging: An Art and A Science*, 5th ed.

**Carlton, R., & Adler, A. (2012).** *Principles of Radiographic Imaging: An Art and A Science: Cengage Learning*.

**Charles, J. F., & Aliprantis, A. O. (2014).** Osteoclasts: more than ‘bone eaters’. *Trends in Molecular Medicine*. 20(8). S. 449-459.

**Chateau, H., Degueurce, C., Jerbi, H., Crevier-Denoix, N., Pourcelot, P., Audigie, F., Denoix, J. M. (2002).** Three-dimensional kinematics of the equine interphalangeal joints: articular impact of asymmetric bearing. *Veterinary Research*. 33(4). S. 371-382.

**Claerhoudt, S., Bergman, H. J., van der Veen, H., Duchateau, L., Raes, E. V., Vanderperren, K., & Saunders, J. H. (2012).** Morphology of distal border synovial invaginations of the equine distal sesamoid bone Comparison between computed tomography and a hoof-specific radiographic projection. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 25(6). S. 453-459.

**Clegg, P. D. (1999).** Matrix metalloproteinase-2 and -9 are activated in joint disease. *Equine Vet Journal*.

**Colles, C. M., & Hickman, J. (1977).** The arterial supply of the navicular bone and its variations in navicular, *Equine Vet Journal*, 9(3), S. 150-154.

**Coomer, R., Thomas, H., & McKane, S. (2013).** Current concepts of navicular syndrome: diagnosis and treatment. *In Practice*, 35(6), S. 325-335.

**Cowen, A. R., Kengyelics, S. M., & Davies, A. G. (2008).** Solid-state, flat-panel, digital radiography detectors and their physical imaging characteristics. *Clinical Radiology*, 63(5), S. 487-498.

**Cruz, A. M., Pharr, J. W., Bailey, J. V., Barber, S. M., & Fretz, P. B. (2001).** Podotrochlear bursa endoscopy in the horse: A cadaver study. *Veterinary Surgery*, 30(6), S. 539-545

**Czupalla, I., & Gerhards, H. (2013).** Narkoserisiko bei Pferden – Eine retrospektive Studie anhand von 1.989 Narkosen. *Pferdeheilkunde*, 29(6), S. 729-+.

**Dai, X.-M., Zong, X.-H., Akhter, M. P., & Stanley, E. R. (2004).** Osteoclast Deficiency Results in Disorganized Matrix, Reduced Mineralization, and Abnormal Osteoblast Behavior in Developing Bone. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(9), S. 1441-1451.

**Dallas, S. L., Prideaux, M., & Bonewald, L. F. (2013).** The Osteocyte: An Endocrine Cell ... and More. *Endocrine Reviews*, 34(5), S.658-690.

**Dammer, H. (1986).** Röntgenologische Kontrastmitteluntersuchungender Strahlbeine (Arteriographie und Arthrographie) bei Pferden mit und ohne Podotrochlose mit der “Fein-Focus” Röntgentechnik. Dissertaion, Tierärztliche Hochschule Hannover.

**De Clercq, T., Verschooten, F., & Ysebaert, M. (2000).** A comparision of the palmaroproximal-palmarodistal view of the isolated navicular bone to other. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 41(6), S. 525-533.

**Del Fattore, A., Teti, A., & Rucci, N. (2008).** Osteoclast receptors and signaling. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 473(2), S. 147-160

**Denoix, J. (1999).** Functional anatomy of the equine interphalangeal joints. Paper presented at the Proc. Am. Ass. equine Practnrs.

**Denoix, J. M. (2000).** The Equine Distal Limb: An Atlas of Clinical Anatomy and Comparative Imaging, Buch, CRC Press Verlag.

**Diesterbeck, U., & Distl, O. (2007).** Review of genetic aspects of radiological alterations in the navicular bone of the horse. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 114(11), 404-411.

**Dietz, O., & Huskamp, B. (2005).** Handbuch Pferdepraxis, (3. Ausgabe.), Thieme Verlag.

**Dik, K. J., van den Belt, A. J., Enzerink, E., & van Weeren, P. R. (2001).** The radiographic development of the distal and proximal double contours of the equine navicular bone on dorsoproximal-palmarodistal oblique (upright pedal) radiographs, from age 1 to 11 months. *Equine Vet Journal*, 33(1), S. 70-74.

- Dodd, J. S., Raleigh, J. A., & Gross, T. S. (1999).** Osteocyte hypoxia: a novel mechanotransduction pathway. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 277(3), S. 598-602.
- Dohoo, I. R., Martin, W., Martin, S. W., & Stryhn, H. (2003).** *Veterinary Epidemiologic Research: AVC Incorporated.*
- Doige, C. E., & Hoffer, M. A. (1983).** Pathologic-changes in the navicular bone and associated structures of the horse. *Canadian Journal of Comparative Medicine-Revue Canadienne De Medecine Comparee*, 47(4), S. 387-395.
- Drommer, W., Damsch, S., Winkelmeier, S., Hertsch, B., & Kaup, F. J. (1992).** Licht- und elektronenmikroskopische Befunde an den Canales sesamoidales des Strahlbeines bei der Podotrochlose des Pferdes. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 99(6), S. 235-241.
- Ducy, P., Amling, M., Takeda, S., Priemel, M., Schilling, A. F., Beil, F. T., . . . Karsenty, G. (2000).** Leptin inhibits bone formation through a hypothalamic relay: A central control of bone mass. *Cell*, 100(2), S. 197-207.
- Ducy, P., Schinke, T., & Karsenty, G. (2000).** The osteoblast: A sophisticated fibroblast under central surveillance. *Science*, 289(5484), S. 1501-1504.
- Dyson, S. (2015).** Chapter 199 - Navicular Disease and Injuries of the Podotrochlear Apparatus A2 - Sprayberry, Kim A. In N. E. Robinson (Ed.), *Robinson's Current Therapy in Equine Medicine* (7. Auflage) (pp. 856-861). Saunders.
- Dyson, S. (2011).** Radiological interpretation of the navicular bone. *Equine Veterinary Education*, 23(2), S. 73-87
- Dyson, S., Blunden, T., & Murray, R. (2012).** Comparison between magnetic resonance imaging and histological findings in the navicular bone of horses with foot pain. *Equine Vet Journal*, 44(6), S. 692-698.
- Dyson, S., Murray, R., Blunden, T., & Schramme, M. (2006).** Current concepts of navicular disease. *Equine Veterinary Education*, 18(1), S. 45-56.
- Dyson, S., Murray, R., Schramme, M., & Blunden, T. (2011).** Current concepts of navicular disease. *Equine Veterinary Education*, 23(1), S. 27-39.

- Dyson, S., Talbot, A., Thomas, H., Coomer, R., & McKane, S. (2013).** Use of egg bar shoes in horses suffering from navicular syndrome. In Practice, 35(8), S. 477-478.
- Erdmann, S. (2009).** Klinische und radiologische Verlaufsuntersuchung an den Strahlbeinen der Vorderextremitäten von Pferden, Dissertaion, FU-Berlin
- Findlay, D. M., & Atkins, G. J. (2014).** Osteoblast-chondrocyte interactions in osteoarthritis. Current osteoporosis reports, 12(1), S. 127-134.
- Floyd, A. (2009).** Hufkrankheiten Diagnostik - Therapie- orthopädischer Beschlag, Buch, Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH.
- Fukui, N., Miyamoto, Y., Nakajima, M., Ikeda, Y., Hikita, A., Furukawa, H., Ikegawa, S. (2008).** Zonal Gene Expression of Chondrocytes in Osteoarthritic Cartilage. Arthritis and Rheumatism, 58(12), S. 3843-3853.
- Gabriel, A., Detilleux, J., Jolly, S., Reginster, J. Y., Collin, B., & Dessy-Doize, C. (1999).** Morphometric study of the equine navicular bone: age-related changes and influence of exercise. Veterinary Research Communications, 23(1), S. 15-40.
- Geyer, H., & Löschmann, Y. (2007).** Histologie der Beugesehnen und ihrer Nachbarorgane distal an der Zehe des Pferdes, Pferdeheilkunde, 23(1), S. 39-46.
- Gibaud, B. (2011).** The quest for standards in medical imaging. European Journal of Radiology, 78(2), S. 190-198.
- Gibson, K. T., McIlwraith, C. W., & Park, R. D. (1990).** A radiographic study of the distal interphalangeal joint and navicular bursa of the horse. Veterinary Radiology, 31(1), S. 22-25.
- GIERTH, X-ray (2014).** Produktbeschreibung TR 80/20: <http://www.gierth-x-ray.de/pages/de/impressum.php>
- Guerrini, M. M., & Takayanagi, H. (2014).** The immune system, bone and RANKL. Archives of Biochemistry and Biophysics, 561, S. 118-123.
- Hague, B. A., Honnas, C. M., Simpson, R. B., & Peloso, J. G. (1997).** Evaluation of skin bacterial flora before and after aseptic preparation of clipped and nonclipped arthrocentesis sites in horses. Veterinary Surgery, 26(2), S. 121-125.



- Hansen, E. S., Hjortdal, V. E., Kjolseth, D., He, S. Z., Hoy, K., Soballe, K., & Bunger, C. (1991).** Technetium 99M diphosphonate uptake and intraosseus hemodynamics during venous congestion in bone- knee-joint tamponade studied in immature dogs. *Skeletal Radiology*, 20(3), S. 159-168.
- Harada, S., & Rodan, G. A. (2003).** Control of osteoblast function and regulation of bone mass. *Nature*, 423(6937), S. 349-355.
- Henriksen, K., Flores, C., Thomsen, J. S., Bruel, A. M., Thudium, C. S., Neutzsky-Wulff, A. V., Richter, J. (2011).** Dissociation of Bone Resorption and Bone Formation in Adult Mice with a Non-Functional V-ATPase in Osteoclasts Leads to Increased Bone Strength. *Plos One*, 6(11), 11.
- Hertsch, B., & Dammer, H. (1987).** Zur Durchblutung des gesunden und erkrankten Strahlbeins. *Deutsches Tierärztliches Wochenschriften*, 94(3), S. 169-172.
- Hertsch, B., & Höppner, S. (1999).** Zur Diagnostik des Podotrochlose-Syndroms in der Praxis, 15(4), S. 293-+.
- Hertsch, B., & Maass, S. (2009).** Zur Pathogenese der aseptischen Podarthritis des Pferdes – eine Hauptform des Podotrochlose-Syndroms. *Pferdeheilkunde*, 25(2), S. 124-+.
- Hildebrand, C., Oqvist, G., Brax, L., & Tuisku, F. (1991).** Anatomy of the rat knee-joint and fiber composition of a major articular nerve. *Anatomical Record*, 229(4), S. 545-555.
- Hinoi, E., Ochi, H., Takarada, T., Nakatani, E., Iezaki, T., Nakajima, H., Yoneda, Y. (2012).** Positive Regulation of Osteoclastic Differentiation by Growth Differentiation Factor 15 Upregulated in Osteocytic Cells Under Hypoxia. *Journal of Bone and Mineral Research*, 27(4), S. 938-949.
- Holowinski, M. E., Solano, M., Maranda, L., & Garcia-Lopez, J. M. (2012).** Magnetic resonance imaging of navicular bursa. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 53(5), S. 566-572.
- Honma, M., Ikebuchi, Y., Kariya, Y., Hayashi, M., Hayashi, N., Aoki, S., & Suzuki, H. (2013).** RANKL subcellular trafficking and regulatory mechanisms in osteocytes. *Journal of Bone and Mineral Research*, 28(9), S. 1936-1949.
- Bracco Imaging, . (2013)** Beipackzettel Imeron 300 MCT.

- Imhof, H., Sulzbacher, I., Grampp, S., Czerny, C., Youssefzadeh, S., & Kainberger, F. (2000).** Subchondral bone and cartilage disease - A rediscovered functional unit. *Investigative Radiology*, 35(10), S. 581-588.
- Jann, H., Henry, G., Berry, A., & Cash, L. (1991).** Arthrographic observations of the equine distal interphalangeal joint and navicular bursa. *Anatomia Histologia Embryologia-Journal of Veterinary Medicine Series C-Zentralblatt Fur Veterinärmedizin Reihe C*, 20(1), S. 30-36.
- Jenner, F., & Kirker-Head, C. (2011).** Core Decompression of the Equine Navicular Bone: An In Vivo Study in Healthy Horses. *Veterinary Surgery*, 40(2), S. 151-162.
- Jones, D., Glimcher, L. H., & Aliprantis, A. O. (2011).** Osteoimmunology at the nexus of arthritis, osteoporosis, cancer, and infection. *Journal of Clinical Investigation*, 121(7), S. 2534-2542.
- KhairElseed. (2006).** The venous blood supply of the navicular bone and its variation. Dissertation. FU Berlin.
- Komosa, M., Lazowski, S., Wlodarek, J., Kowalczyk, K., Charuta, A., & Zdun, M. (2014).** Gross and histological evaluation of early lesions of navicular bone and deep digital flexor tendon in horses. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 58(1), S. 87-91.
- Komosa, M., Purzyc, H., & Frackowiak, H. (2013).** Changes in Navicular Bone (os sesamoideum distale) Shape in Horses as a Result of Pathological Alterations. *Folia Biologica-Krakow*, 61(1-2), S. 1-10.
- Kotter, E., & Langer, M. (2002).** Digital radiography with large-area flat-panel detectors. *European Radiology*, 12(10), S. 2562-2570.
- Krenn, V., & Rütther, W. (2011).** Pathologie des Bewegungsapparates. Buch, De Gruyter Verlag.
- Kurata, K., Heino, T. J., Higaki, H., & Vaananen, H. K. (2006).** Bone marrow cell differentiation induced by mechanically damaged osteocytes in 3D gel-embedded culture. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21(4), S. 616-625.

**L.F., L., Dietz, O., & Nagel, E. (1987).** Angiographie als diagnostische Hilfsmittel und periarterielle Sympathektomie mit oder ohne Neurektomie in der Lahmheits therapie beim Pferd. Pferdeheilkunde.

**Labens, R., & Redding, W. R. (2012).** The dilemma of whether to inject the navicular bursa. Veterinary Record, 171(25), S. 641-+.

**Lacey, D. L., Timms, E., Tan, H. L., Kelley, M. J., Dunstan, C. R., Burgess, T., Boyle, W. J. (1998).** Osteoprotegerin ligand is a cytokine that regulates osteoclast differentiation and activation. Cell, 93(2), S. 165-176.

**Langer, S. G., Ramthun, S., & Bender, C. (2012).** Introduction to Digital Medical Image Management: Departmental Concerns. American Journal of Roentgenology, 198(4), S. 746-753.

**Lipton, P., Nagy, P., & Sevinc, G. (2012).** Leveraging Internet Technologies with DICOM WADO. Journal of Digital Imaging, 25(5), S. 646-652.

**Lyons, T. J., McClure, S. F., Stoddart, R. W., & McClure, J. (2006).** The normal human chondro-osseous junctional region: evidence for contact of uncalcified cartilage with subchondral bone and marrow spaces. Bmc Musculoskeletal Disorders,

**Mach, D. B., Rogers, S. D., Sabino, M. C., Luger, N. M., Schwei, M. J., Pomonis, J. D., Mantyh, P. W. (2002).** Origins of skeletal pain: Sensory and sympathetic innervation of the mouse femur. Neuroscience, 113(1), S. 155-166.

**Madsack, B. (2014).** Abnahme und Konstanzprüfung an Bildwiedergabesystemen- was ändert sich mit der neuen DIN V 6868-157.

**Manfredi, J. M., Boyce, M., Malone, E. D., Anderson, C., Anderson, L. B., & Trumble, T. N. (2012).** Steroid diffusion into the navicular bursa occurs in horses affected by palmar foot pain. Veterinary Record, 171(25), S. 642-+.

**Matsuo, K., & Otaki, N. (2012).** Bone cell interactions through Eph/ephrin. Cell Adhesion & Migration, 6(2), S. 148-156.

- McDougall, J. J., Andruski, B., Schuelert, N., Hallgrimsson, B., & Matyas, J. R. (2009).** Unravelling the relationship between age, nociception and joint destruction in naturally occurring osteoarthritis of Dunkin Hartley guinea pigs. *Pain*, 141(3), S. 222-232.
- McGuigan, M. P., & Wilson, A. M. (2001).** The effect of bilateral palmar digital nerve analgesia on the compressive force experienced by the navicular bone in horses with navicular disease. *Equine Vet Journal*, 33(2), S. 166-171.
- McIlwraith, C. W., Frisbie, D. D., Kawcak, C. E., Fuller, C. J., Hurtig, M., & Cruz, A. (2010).** The OARSI histopathology initiative - recommendations for histological assessments of osteoarthritis in the horse. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18, S.93-105.
- Moorman, V. J., Marshall, J. F., Devine, D. V., Payton, M., Jann, H. W., & Bahr, R. (2009).** Comparison of flat-panel digital to conventional film-screen radiography in detection of experimentally created lesions of the equine third metacarpal bone. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 50(6), S. 577-583.
- Morgan, J. P. (1973).** Radiology in Veterinary Orthopedics.
- Murray, R. C., Mair, T. S., Sherlock, C. E., & Blunden, A. S. (2009).** Comparison of high-field and low-field magnetic resonance images of cadaver limbs of horses. *Veterinary Record*, 165(10), S. 281-288.
- Murray, R. C., Schramme, M. C., Dyson, S. J., Branch, M. V., & Blunden, T. S. (2006).** Magnetic resonance imaging characteristics of the foot in horses with palmar foot pain and control horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 47(1), S. 1-16.
- Nagae, M., Hiraga, T., Wakabayashi, H., Wang, L., Iwata, K., & Yoneda, T. (2006).** Osteoclasts play a part in pain due to the inflammation adjacent to bone. *Bone*, 39(5), S. 1107-1115.
- Nakagawa, N., Kinosaki, M., Yamaguchi, K., Shima, N., Yasuda, H., Yano, K., Higashio, K. (1998).** RANK is the essential signaling receptor for osteoclast differentiation factor in osteoclastogenesis. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 253(2), S. 395-400.

**Nakashima, T., Hayashi, M., Fukunaga, T., Kurata, K., Oh-Hora, M., Feng, J. Q., . . . Takayanagi, H. (2011).** Evidence for osteocyte regulation of bone homeostasis through RANKL expression. *Nature Medicine*, 17(10), S. 1231-1234.

**Normenausschuss Radiologie (NAR) (2011).** Qualitätssicherung digitaler Röntgeneinrichtungen, <http://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nar>

**National Electrical Manufacturers Association (NEMA), (2015).** Part 14: DICOM PS3.14 2015c-Grayscale Standard Display Function, <http://www.nema.org/pages/default.aspx>.

**Neogi, T., Felson, D., Niu, J., Lynch, J., Nevitt, M., Guermazi, A., . . . Zhang, Y. (2009).** Cartilage Loss Occurs in the Same Subregions as Subchondral Bone Attrition: A Within-Knee Subregion-Matched Approach From the Multicenter Osteoarthritis Study. *Arthritis & Rheumatism-Arthritis Care & Research*, 61(11), S. 1539-1544.

**Nickel, R., A. Schummer, & Seiferle, E. (2003).** Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I: Bewegungsapparat: Enke Verlag.

**Nurminskaya, M., & Linsenmayer, T. F. (1996).** Identification and characterization of up-regulated genes during chondrocyte hypertrophy. *Developmental Dynamics*, 206(3), S. 260-271.

**O'Brien, T. R., Millman, T. M., Pool, R. R., & Suter, P. F. (1975).** Navicular Disease in the Thoroughbred Horse: A Morphologic Investigation Relative to a New Radiographic Projection. *Veterinary Radiology*, 16(2), S. 39-51.

**O'Brien, T. R., Millman, T. M., Morgan, J. P., & Suter, P. F. (1973).** The navicular disease in horse – new radiographic projections and its significance. *Journal of the American Veterinary Radiology Society*, 14(1), S. 8-8.

**Ogino, S., Sasho, T., Nakagawa, K., Suzuki, M., Yamaguchi, S., Higashi, M.,Moriya, H. (2009).** Detection of pain-related molecules in the subchondral bone of osteoarthritic knees. *Clinical Rheumatology*, 28(12), S. 1395-1402.

**Oxspring, G. (1935).** The radiology of navicular disease, with observations on its pathology. *Veterinary Records* 1935;15: S.1433-1447.

- Pan, J., Zhou, X. Z., Li, W., Novotny, J. E., Doty, S. B., & Wang, L. Y. (2009).** In Situ Measurement of Transport between Subchondral Bone and Articular Cartilage. *Journal of Orthopaedic Research*, 27(10), S. 1347-1352.
- Parks, A. (2003).** Form and function of the equine digit. *Veterinary Clinics of North America-Equine Practice*, 19(2), S. 285-+.
- Patel, S. (2014).** Primary bone marrow oedema syndromes. *Rheumatology*, 53(5), S. 785-792.
- Pennypacker, B., Shea, M., Liu, Q., Masarachia, P., Saftig, P., Rodan, S., Kimmel, D. (2009).** Bone density, strength, and formation in adult cathepsin K (-/-) mice. *Bone*, 44(2), S. 199-207.
- Gesellschaft für Pferdemedizin. (2007).** Röntgenleitfaden: Bundestierärztekammer.
- Pittenger, M. F., Mackay, A. M., Beck, S. C., Jaiswal, R. K., Douglas, R., Mosca, J. D., Marshak, D. R. (1999).** Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells. *Science*, 284(5411), S. 143-147.
- Pleasant, R. S., Baker, G. J., Foreman, J. H., Eurell, J. A. C., & Losonsky, J. M. (1993).** Intraosseus pressure and pathological-changes in horses with navicular disease. *American Journal of Veterinary Research*, 54(1), S. 7-12.
- Podoblock. (2014).** from [http://www.podoblock.com/products-page/mobile-foldable-stands-and-carts/the-dragster/#prettyPhoto\[pp\\_gal\]/9/](http://www.podoblock.com/products-page/mobile-foldable-stands-and-carts/the-dragster/#prettyPhoto[pp_gal]/9/)
- Pollard, R. E., & Puchalski, S. M. (2011).** Reaction to intraarterial ionic iodinated contrast medium in anesthetized horses. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 52(4), S. 441-443.
- Pool, R. R., Meagher, D. M., & Stover, S. M. (1989).** Patho-physiology of navicular syndrome. *Veterinary Clinics of North America-Equine Practice*, 5(1), S. 109-129.
- Poulos, P. W., & Brown, A. (1989).** On navicular disease in the horse –A roentgenological and patho-anatomic study. 1. Evaluation of the flexor central eminence. *Veterinary Radiology*, 30(2), S. 50-&.
- Poulos, P. W., & Smith, M. F. (1988).** The natute of enlarged vascular channels in the navicular bone of the horse. *Veterinary Radiology*, 29(2), S. 60-64.

**Priam, S., Bougault, C., Houard, X., Gosset, M., Salvat, C., Berenbaum, F., & Jacques, C. (2013).** Identification of Soluble 14-3-3 as a Novel Subchondral Bone Mediator Involved in Cartilage Degradation in Osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism*, 65(7), S. 1831-1842.

**Qing, H., Ardeshirpour, L., Pajevic, P. D., Dusevich, V., Jahn, K., Kato, S., Bonewald, L. F. (2012).** Demonstration of osteocytic perilacunar/canalicular remodeling in mice during lactation. *Journal of Bone and Mineral Research*, 27(5), S. 1018-1029.

**Raheja, L. F., Genetos, D. C., & Yellowley, C. E. (2008).** Hypoxic osteocytes recruit human MSCs through an OPN/CD44-mediated pathway. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 366(4), S. 1061-1066.

**Redden, R. F. (2003).** Radiographic imaging of the equine foot. *Veterinary Clinics of North America-Equine Practice*, 19(2), S. 379-+.

**Rheiner, B. (2010).** Optimierung der Objektlagerung und des Strahlengangs bei der Aufnahmetechnik nach Oxspring beim Pferd mit dem Ziel der Standardisierung im Hinblick auf den Röntgenleitfaden 2007. Dissertation. FU Berlin.

**Riggs, B. L., Khosla, S., & Melton, L. J. (2002).** Sex steroids and the construction and conservation of the adult skeleton. *Endocrine Reviews*, 23(3), S. 279-302.

**Rijkenhuizen, A. B. M. (2006).** Recent developments in Equine palmar foot syndrome: What has changed for the clinician? *Pferdeheilkunde*, 22(5), S. 579-586.

**Rijkenhuizen, A. B. M., Nemeth, F., Dik, K. J., & Goedegebuure, S. A. (1989).** The arterial supply of the navicular bone in adult horses with navicular disease. *Equine Vet Journal*, 21(6), S. 418-424.

**Rose, R. J. (1996).** Navicular disease in the horse. *Journal of Equine Veterinary Science*, 16(1), S. 18-24.

**Ross, M. W., & Dyson, S. (2011).** Diagnosis and Management of Lameness in the Horse, Buch, (2. Ausgabe.), Saunders Verlag.

**Rossignol, F., & Perrin, R. (2003).** Tenoscopy of the navicular bursa: Endoscopic approach and anatomy. *Journal of Equine Veterinary Science*, 23(6),

**Sagar, D. R., Ashraf, S., Xu, L. T., Burston, J. J., Menhinick, M. R., Poulter, C. L., Chapman, V. (2014).** Osteoprotegerin reduces the development of pain behaviour and joint pathology in a model of osteoarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 73(8), S. 1558-1565.

**Salomon, F.-V. H. G., Uwe Gille (2008).** Anatomie für die Tiermedizin. Buch. 2. Auflage. Enke-Verlag

**Sampson, S. N., Schneider, R. K., Gavin, P. R., Ho, C. P., Tucker, R. L., & Charles, E. M. (2009).** Magnetic resonance imaging findings in horses with recent onset navicular syndrome but without radiographic abnormalities. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 50(4), S. 339-346.

**Sapir-Koren, R., & Livshits, G. (2014).** Osteocyte control of bone remodeling: is sclerostin a key molecular coordinator of the balanced bone resorption-formation cycles? *Osteoporosis International*, 25(12), S. 2685-2700.

**Schött, E. (1989).** Direkte Druckmessungen im Hufgelenk bei Pferden - ein Beitrag zur Pathogenese und Therapie von Strahlbein- und Hufgelenkserkrankungen. Dissertation, Hannover, Tierärztliche Hochschule.

**Schramme, M. C., Boswell, J. C., Hamhougias, K., Toulson, K., & Viitanen, M. (2000).** An in vitro study to compare 5 different techniques for injection of the navicular bursa in the horse. *Equine Vet J*, 32(3), S. 263-267.

**Schumacher, J., Schramme, M. C., Schumacher, J., & DeGraves, F. J. (2013).** Diagnostic analgesia of the equine digit. *Equine Veterinary Education*, 25(8), S. 408-421.

**Sellam, J., & Berenbaum, F. (2010).** The role of synovitis in pathophysiology and clinical symptoms of osteoarthritis. *Nature Reviews Rheumatology*, 6(11), S. 625-635.

**Seyrek-Intas, D., Tellhelm, B., & Reckels, F. J. (1999).** Interpretation and diagnostic value of some radiological findings in the navicular bone. *Pferdeheilkunde*, 15(5), S. 406-+.

**Sims, N. A., & Vrahnas, C. (2014).** Regulation of cortical and trabecular bone mass by communication between osteoblasts, osteocytes and osteoclasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*.



**Sinnowatz, F., Hees, H. (2006).** Histologie Kurzlehrbuch der Zytologie und mikroskopischen Anatomie (4 Auflage), München, ISBN: 3-00-023157-9 / 3000231579.

**Spriet, M., David, F., & Rossier, Y. (2004).** Ultrasonographic control of navicular bursa injection. *Equine Vet J*, 36(7), S. 637-639.

**Steel, C. M., Pannirselvam, R. R., & Anderson, G. A. (2013).** Risk of septic arthritis after intra-articular medication: a study of 16,624 injections in Thoroughbred racehorses. *Australian Veterinary Journal*, 91(7), S. 268-273.

**Stock, K. F., Hamann, H., & Distl, O. (2004).** Varianzkomponentenschätzung für die Frequenz von pathologischen Strahlbeinveränderungen bei Pferden des Hannoverschen Warmbluts. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 121(5), S. 289-301.

**Stone, L. S. (2009).** Joint degeneration and chronic pain: Still looking for the missing link. *Pain*, 141(3), S. 185-186.

**Strassle, B. W., Mark, L., Leventhal, L., Piesla, M. J., Jian Li, X., Kennedy, J. D., Whiteside, G. T. (2010).** Inhibition of osteoclasts prevents cartilage loss and pain in a rat model of degenerative joint disease. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18(10), S. 1319-1328.

**Suda, T., Takahashi, N., & Martin, T. J. (1992).** Modulation of osteoclast differentiation. *Endocrine Reviews*, 13(1), S. 66-80.

**Takeda, S., Bonnamy, J. P., Owen, M. J., Ducy, P., & Karsenty, G. (2001).** Continuous expression of *Cbfa1* in nonhypertrophic chondrocytes uncovers its ability to induce hypertrophic chondrocyte differentiation and partially rescues *Cbfa1*-deficient mice. *Genes & Development*, 15(4), S. 467-481.

**Teti, A., & Zallone, A. (2009).** Do osteocytes contribute to bone mineral homeostasis? Osteocytic osteolysis revisited. *Bone*, 44(1), S. 11-16.

**Thysen, S., Luyten, F. P., & Lories, R. J. U. (2015).** Targets, models and challenges in osteoarthritis research. *Disease Models & Mechanisms*, 8(1), S. 17-30.

**Turner, T. A. (1998).** Use of Navicular Bursography in 97 Horses. Paper presented at the American Association of Equine Practitioners.

**Turner, T. A. (2013).** How to Perform an Interpret Navicular Bursography. American Association of Equine Practitioners

**Udagawa, N., Takahashi, N., Yasuda, H., Mizuno, A., Itoh, K., Ueno, Y., Suda, T. (2000).** Osteoprotegerin produced by osteoblasts is an important regulator in osteoclast development and function. *Endocrinology*, 141(9), S. 3478-3484.

**Ueltschi, G. (2002).** Zur Röntgendiagnostik des Strahlbeins. *Pferdeheilkunde*, 18(3), S. 217-.

**van der Kraan, P. M., & van den Berg, W. B. (2007).** Osteophytes: relevance and biology. *Osteoarthritis and Cartilage*, 15(3), S. 237-244

**van der Kraan, P. M., & van den Berg, W. B. (2012).** Chondrocyte hypertrophy and osteoarthritis: role in initiation and progression of cartilage degeneration? *Osteoarthritis and Cartilage*, 20(3), S. 223-232

**Van Wulfen, K. K., & Bowker, R. M. (2002).** Evaluation of tachykinins and their receptors to determine sensory innervation in the dorsal hoof wall and insertion of the distal sesamoidean impar ligament and deep digital flexor tendon on the distal phalanx in healthy feet of horses. *American Journal of Veterinary Research*, 63(2), S. 222-228.

**Verschooten, F., Desmet, P., Peremans, K., & Picavet, T. (1990).** Navicular disease in the horse – the effect of controlled intrabursal corticoid injection. *Journal of Equine Veterinary Science*, 10(4), S. 316-320.

**Vezeridis, P. S., Semeins, C. M., Chen, Q., & Klein-Nulend, J. (2006).** Osteocytes subjected to pulsating fluid flow regulate osteoblast proliferation and differentiation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 348(3), S. 1082-1088.

**Viitanen, M., Bird, J., Makela, O., Schramme, M., Smith, R., Tulamo, R. M., & May, S. (2001).** Synovial fluid studies in navicular disease. *Research in Veterinary Science*, 71(3), S. 201-206.

**Viitanen, M., Bird, J., Smith, R., Tulamo, R. M., & May, S. A. (2003).** Biochemical characterisation of navicular hyaline cartilage, navicular fibrocartilage and the deep digital flexor tendon in horses with navicular disease. *Research in Veterinary Science*, 75(2), S. 113-120.

**Waguespack, R. W. (2010).** Navicular Syndrome in Equine Patients: Anatomy, Causes, and Diagnosis.

**Wahl, K., Adams, S. B., & Moore, G. E. (2012).** Contamination of Joints with Tissue Debris and Hair after Arthrocentesis: The Effect of Needle Insertion Angle, Spinal Needle Gauge, and Insertion of Spinal Needles with and without a Stylet. *Veterinary Surgery*, 41(3), S. 391-398.

**Widmer, W. R., Buckwalter, K. A., Fessler, J. F., Hill, M. A., VanSickle, D. C., & Ivancevich, S. (2000).** Use of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluation of navicular syndrome in the horse. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 41(2), S. 108-116.

**Wilson, A. M., McGuigan, M. P., Fouracre, L., & MacMahon, L. (2001).** The force and contact stress on the navicular bone during trot locomotion in sound horses and horses with navicular disease. *Equine Vet J*, 33(2), S. 159-165.

**Wissdorf, H. H. G., Bernhard Huskamp, Eckehard Deegen (2010).** Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferde, Buch, (3. Auflage).M und H Schaper.

**Wolff, J. (1892).** Das Gesetz der Transformation der Knochen, Reprint: Pro Business, Berlin 2010, ISBN 978-3-86805-648-8.

**Wright, I. M. (1993).** A study of 118 cases of navicular disease – radiological features. *Equine Vet J*, 25(6), S. 493-500.

**Wright, I. M., Kidd, L., & Thorp, B. H. (1998).** Gross, histological and histomorphometric features of the navicular bone and related structures in the horse. *Equine Vet J*, 30(3), S. 220-234.

**Würfel, C., & Hertsch, B. (2005).** Untersuchung zum diagnostischen Wert der Kontrastradiographie der Bursa podotrochlearis 21(1), S. 4-12.

**Xiong, J. H., Onal, M., Jilka, R. L., Weinstein, R. S., Manolagas, S. C., & O'Brien, C. A. (2011).** Matrix-embedded cells control osteoclast formation. *Nature Medicine*, 17(10), S. 1235-1262.

**Zhang, C. C., Dou, C., Xu, J. Z., & Dong, S. W. (2014).** DC-STAMP, the Key Fusion-Mediating Molecule in Osteoclastogenesis. *Journal of Cellular Physiology*, 229(10), S. 1330-1335.

**Zhang, L. H., Gardiner, B. S., Smith, D. W., Pivonka, P., & Grodzinsky, A. J. (2010).** On the role of diffusible binding partners in modulating the transport and concentration of proteins in tissues. *Journal of Theoretical Biology*, 263(1), S. 20-29.

**Zhang, L. Z., Zheng, H. A., Jiang, Y., Tu, Y. H., Jiang, P. H., & Yang, A. L. (2012).** Mechanical and biologic link between cartilage and subchondral bone in osteoarthritis. *Arthritis Care & Research*, 64(7), S. 960-967.

**Zubrod, C. J., Farnsworth, K. D., & Oaks, J. L. (2004).** Evaluation of arthrocentesis site bacterial flora before and after 4 methods of preparation in horses with and without evidence of skin contamination. *Veterinary Surgery*, 33(5), S. 525-530.

**Zuther, M., & Hertsch, B. (2004).** About the differentiation of the podotrochlear syndrome with the aid of diagnostic anaesthesia and the manometry in the distal interphalangeal joint and the navicular bursa. *Pferdeheilkunde*, 20(6), S. 525-532.

## 11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der arteriellen Versorgung des Strahlbeins, Ansicht von dorsal nach palmar, unten ist distal (Hertsch und Maass 2009).....	5
Abbildung 2: Röntgenaufnahme eines demineralisierten Strahlbein nach einem Arteriogramm, (Poulos und Smith 1988).....	6
Abbildung 3: Schematische Zeichnung, Sagitalschnitt der hinteren Hufregion. ....	8
Abbildung 4: Shematischer Ablauf einer Osteoathritis (van der Kraan and van den Berg 2012) .....	18
Abbildung 5: Schematische Darstellung vom venösen Gefäßsystem aus (Hertsch und Maass 2009).....	27
Abbildung 6: Aufbau eines digitalen Bildes (Carlton und Adler 2012). ....	31
Abbildung 7: Schematische Darstellung Röntgenaufnahme nach Morgan (Butler et al. 2011); .....	40
Abbildung 8: Links: vorbereiteter Huf vor der Ausschmierung mit Fassdichte; rechts: sortierte Beine mit Marker .....	51
Abbildung 9: 5 ml Einmalspritze, Spinalkanüle und Kontrastmittel für die Bursographie .....	53
Abbildung 10: Kontrastmittelapplikation; .....	54
Abbildung 11: Präparation Ansicht Hufbein und Strahlbein (Facies articularis),.....	57
Abbildung 12: Präparation Ansicht Gelenkfläche Hufgelenk Kronbein.....	58
Abbildung 13: Ansicht Ausschnitt tiefe Beugesehne und Facies Flexoria Strahlbein, .....	58
Abbildung 14: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text.....	62
Abbildung 15: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text.....	63
Abbildung 16: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text.....	63

Abbildung 17: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen nach Kontrastmittelapplikation in die Bursa podotrochlearis, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text .....	64
Abbildung 18: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen nach Kontrastmittelapplikation in die Bursa podotrochlearis, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text .....	65
Abbildung 19: Ausschnitte der Oxspringaufnahmen nach Kontrastmittelapplikation in die Bursa podotrochlearis, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text .....	66
Abbildung 20: Ausschnitte der Skylineaufnahmen, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text .....	67
Abbildung 21: Ausschnitte der Skylineaufnahmen, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text .....	68
Abbildung 22: Ausschnitte der Skylineaufnahmen, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text .....	69
Abbildung 23: Ausschnitte von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittelfüllung der Bursa podotrochlearis , Beschreibungen der Bilder 1 bis 3 im Text .....	70
Abbildung 24: Ausschnitte von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittelfüllung der Bursa podotrochlearis , Beschreibungen der Bilder 4 bis 6 im Text .....	71
Abbildung 25: Ausschnitte von Skylineaufnahmen mit Kontrastmittelfüllung der Bursa podotrochlearis , Beschreibungen der Bilder 7 bis 9 im Text .....	72
Abbildung 26: Präparation des Strahlbeins (oben im Bild ist der Margo distalis des Strahlbeins) und der tiefen Beugesehne, Beschreibung Bild 1 bis 3 im Text .....	74
Abbildung 27: Präparation des Strahlbeins (oben im Bild ist der Margo distalis des Strahlbeins) und der tiefen Beugesehne, Beschreibung Bild 4 bis 6 im Text .....	75
Abbildung 28: Präparation des Strahlbeins (oben im Bild ist der Margo distalis des Strahlbeins) und der tiefen Beugesehne, Beschreibung Bild 7 bis 9 im Text .....	75
Abbildung 29: Kronbein Gelenkfläche Hufgelenk (Auszug), Beschreibung im Text .....	76
Abbildung 30: Hufbein und Strahlbein Ansicht von proximal (Auszug), Beschreibung im Text .....	77

Abbildung 31: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme nach RÖLF abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse.....	93
Abbildung 32: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse.....	95
Abbildung 33: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Präparation und der Oxspringaufnahme .....	97
Abbildung 34: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Oxspringaufnahme und der Präparation .....	98
Abbildung 35: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Skylineaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	99
Abbildung 36: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Präparation und der Skyline-Aufnahme .....	101
Abbildung 37: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Skylineaufnahme und der Präparation .....	102
Abbildung 38: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspring-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	103
Abbildung 39: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation .....	105
Abbildung 40: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation .....	106
Abbildung 41: Graphische Darstellung der Differenzen der Röntgenklasse der Skyline-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	107
Abbildung 42: Punktediagramm der absoluten Punktzahlen der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation .....	109
Abbildung 43: Boxplotdiagramm der absoluten Punktzahlen der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme und der Präparation .....	110

Abbildung 44: Graphische Darstellung der Tabelle 56 .....	114
Abbildung 45: Boxplotdiagramm Anzahl der positiven Befunde der Hufrollenklassen .....	115
Abbildung 46: Summe der Röntgenklassen geordnet nach Hufrollen-Klassen.....	116
Abbildung 47: Punktediagramm der Summen der Präparation und der Röntgenklassen .....	116
Abbildung 48 : Bein 65; 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Skylineaufnahme mit Kontrastmittel; .....	122
Abbildung 49: Bein 65 Präparation;.....	122
Abbildung 50: Bein 71; 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Skylineaufnahme mit Kontrastmittel; .....	123
Abbildung 51: Bein 71 Präparation; .....	123
Abbildung 52: Bein 41: 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Präparation; .....	124
Abbildung 53: Bein 46: 1. Oxspringaufnahme; 2. Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel; 3. Skylineaufnahme; 4. Präparation; .....	125
Abbildung 54: Schematische Darstellung des Strahlenganges; .....	132



## 12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Auswertung nach Dyson (2011) .....	41
Tabelle 2: Auswertung nach De Clerq (2000) .....	42
Tabelle 3, Liste der Beinpräparate sortiert nach Serien.....	51
Tabelle 4: Technische Daten Gierth TR 90/30 .....	54
Tabelle 5: Technische Daten Sound Eklin.....	55
Tabelle 6: Reihenfolge Röntgenaufnahmen .....	56
Tabelle 7: Kategorisierung nach RöLF .....	59
Tabelle 8 Auswertung Röntgenbilder .....	60
Tabelle 9: Auswertung der Präparation .....	73
Tabelle 10: Häufigkeiten von Befunden nach RÖLF .....	80
Tabelle 11: Häufigkeiten der Befunde in der Oxspringaufnahme nach dem angepassten Schema nach Dyson .....	81
Tabelle 12: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen .....	81
Tabelle 13: subjektive Beschreibung der Mängel .....	82
Tabelle 14: Häufigkeiten der Befunde in der Skylineaufnahme nach dem angepassten Schema nach Dyson (2010) .....	82
Tabelle 15: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen .....	83
Tabelle 16: subjektive Beschreibung der Mängel .....	83
Tabelle 17: Häufigkeiten der Befunde in der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme nach dem modifizierten Schema nach Turner (1998).....	83
Tabelle 18: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen .....	84

Tabelle 19: subjektive Beschreibung der Mängel .....	84
Tabelle 20: Häufigkeiten der Befunde der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme nach dem modifizierten Schema nach Turner (1998).....	84
Tabelle 21: Bewertung der technischen Qualität der Aufnahmen .....	85
Tabelle 22: Subjektive Beschreibung der Mängel.....	85
Tabelle 23: Häufigkeiten der makroskopischen Befunde am Hufgelenk.....	86
Tabelle 24: Häufigkeiten der makroskopischen Befunde an der Hufrolle .....	86
Tabelle 25: Einteilung nach RÖLF .....	87
Tabelle 26: Einteilung der Gruppen nach Summation der Punkte für die Oxspringaufnahme	88
Tabelle 27: Einteilung der Gruppen nach Summation der Punkte für die Skylineaufnahme...	89
Tabelle 28: Einteilung der Gruppen nach Summation der Punkte für die Oxspringaufnahme mit Kontrastmittel .....	90
Tabelle 29: Einteilung in Gruppen nach Summation der Punkte für die Skyline-Kontrastmittel-Aufnahmen.....	91
Tabelle 30: Einteilung in Gruppen nach Summe der Punkte aus der Präparation .....	91
Tabelle 31: Röntgenauswertung bei der Applikation des Kontrastmittels .....	92
Tabelle 32: Differenz der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme nach RÖLF abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	93
Tabelle 33: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme nach RÖLF abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	94
Tabelle 34: Differenz der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	94
Tabelle 35: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspringaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	95

Tabelle 36: Kreuztabelle/ Heatmap der Klasse der Hufrolle und der Oxspringklasse .....	96
Tabelle 37: Vereinfachte Auswertung nach Oxspring .....	96
Tabelle 38: Differenzen der Röntgenklasse der Skylineaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	98
Tabelle 39: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Skylineaufnahme abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	99
Tabelle 40: Kreuztabelle/ Heatmap der Hufrollenklasse und der Skyline-Klasse .....	100
Tabelle 41: Vereinfachte Auswertung der Skylineaufnahme .....	100
Tabelle 42: Differenzen der Röntgenklasse der Oxspring-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	102
Tabelle 43: Betrag der Differenzen der Röntgenklasse der Oxspring-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	103
Tabelle 44: Kreuztabelle/ Heatmap der Klassen der Präparation und der Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme.....	104
Tabelle 45: Vereinfachte Auswertung der Oxspring-Kontrast-Aufnahme .....	105
Tabelle 46: Differenzen der Röntgenklasse der Skyline-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	106
Tabelle 47: Betrag von der Differenzen der Röntgenklasse der Skyline-Kontrastmittel-Klasse abzüglich der Hufrollen-Präparations-Klasse .....	107
Tabelle 48: Kreuztabelle/ Heatmap der Klassen der Präparation und der Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme.....	108
Tabelle 49: Vereinfachte Auswertung der Skyline-Kontrast-Aufnahme .....	108
Tabelle 50: Vergleich der Röntgenprojektionen und deren Differenzen zwischen Röntgenklasse und Hufrollenklasse .....	111

Tabelle 51: Besondere Fälle Oxspring-Kontrastmittel-Aufnahme.....	112
Tabelle 52: Besondere Fälle Skyline-Kontrastmittel-Aufnahme .....	113
Tabelle 53: Kreuztabelle der Präparationen und der Anzahl positiver Röntgenbefunde.....	113
Tabelle 54: Kreuztabelle der Merkmale KO2 und A14.....	117
Tabelle 55: Kreuztabelle der Merkmale Sk1 und A14 .....	117
Tabelle 56: Kreuztabelle der Merkmale KO3 und A15.....	118
Tabelle 57: Kreuztabelle der Merkmale Sk1 und A15 .....	118
Tabelle 58: Kreuztabelle der Merkmale Sk7 und A14; es wurden nur Aufnahmen berücksichtigt in denen die „Drei Linien“ sichtbar waren .....	119
Tabelle 59: Kreuztabelle der Merkmale KO2 und A13.....	119
Tabelle 60: Kreuztabelle der Merkmale Sk1 und A13 .....	119
Tabelle 61: Kreuztabelle der Merkmale Sk2 und A13 .....	120
Tabelle 62: Kreuztabelle der Merkmale Sk7 und A13; es wurden nur Aufnahmen berücksichtigt in denen die „Drei Linien“ sichtbar waren .....	121
Tabelle 63: Testkriterien zur Abgrenzung der Hufrollenklassen 1/2 und 3/4.....	137
Tabelle 64: Präparate die nur in den Kontrastmittelaufnahmen detektiert wurden .....	138
Tabelle 65: Auswertungstabelle Summe der Merkmale (Auszug).....	173
Tabelle 66: Tabelle Vergleich spezifischer Röntgenmerkmale mit den anatomischen Befunden .....	175
Tabelle 67: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und mindestens 1 positiver Röntgenbefund .....	177
Tabelle 68: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und mindestens 2 positive Röntgenbefunde .....	177
Tabelle 69: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und mindestens 3 positive Röntgenbefunde .....	178

Tabelle 70: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und 4 positive Röntgenbefunde .....	178
Tabelle 71: Sensitivität für die Merkmale aus Tabelle 52 bis 56 .....	178
Tabelle 72: Spezifität für die Merkmale aus Tabelle 52 bis 56 .....	179
Tabelle 73: Sensitivität für die Merkmale aus Tabelle 59 bis 62 .....	179
Tabelle 74: Spezifität für die Merkmale aus Tabelle 59 bis 62 .....	180
Tabelle 75: Oxspring-Aufnahmen .....	181
Tabelle 76: Skyline-Aufnahmen.....	181
Tabelle 77: Oxspring-Kontrast-Aufnahmen .....	181
Tabelle 78: Skyline-Kontrast-Aufnahmen.....	181
Tabelle 79: Hufrollenpräparation .....	182
Tabelle 80: Tabelle Berechnung des gewichteten Kappa .....	182
Tabelle 81: Tabelle Berechnung Korrelationskoeffizient nach Lin.....	182

## 13. Anhang

### 13.1 Auswertungsdaten

Tabelle 66: Auswertungstabelle Summe der Merkmale (Auszug)

Laufende Nr.	Nummer	Oxspring Klasse nach RÖLF	Oxspring-aufnahme Gesamt-punktzahl	Skyline-aufnahme Gesamt-punktzahl	Oxspring-Kontrast-mittel Gesamt-punktzahl	Skyline-Kontrast-mittel Gesamt-punktzahl	Präparation-Gesamt-punktzahl
1	74170	3,5	4	6	9		4
2	90501	2,5	4	3	2	0	1
3	71033	2,5	2	15	3	4	9
4	10244	1,5	0	0	2	4	3
5	92427	2,5	0	6	0	0	10
6	41122	3	9	4	5	0	1
7	64011	2,5	0	1	7	4	12
8	71433	2,5	3	7	4	3	1
9	37552	2,5	1	0	3	4	1
10	26990	2,5	6	6	0	4	10
11	53770	1,5	0	2	0	6	21
12	19704	2,5	0	4	11	6	20
13	35796	4	20	13	16	6	24
14	52324	1,5	0	6	0	3	5
15	96307	2,5	1	9	0	0	0
16	72637	1	0	4	0	1	0
17	69605	3	1	7	2	5	0
18	39724	4	10	5	2	2	1
19	56204	3	3	5	6	1	0
20	20055	1	0	6	3	0	2
21	47122	2,5	1	3	3	0	1
22	79644	3	11	0	6	2	5
23	37345	1	2	8	1	3	8
24	76015	4	20	15	18	9	24
25	51705	2,5	3	6	10	4	7
26	31003	3	1	0	0	4	2
27	72435	2,5	4	6	3	0	0
28	77440	3,5	4	2	0	2	16
29	37100	1	0	2	0	2	9
30	35472	3	6	3	6	0	3
31	30112	2,5	0	6	1	6	1
32	54337	2,5	0	6	5	6	1
33	82074	1	0	0	0	1	0
34	30569	1	0	3	2	2	6
35	36920	2,5	3	6	0	1	0

36	29377	2,5	2	3	0	0	0
37	70411	4	19	12	18	9	21
38	79693	2,5	1	2	0	0	3
39	32699	4	16	14	15	5	16
40	38342	1	0	8	0	0	0
41	25112	4	18	14	14	2	20
42	71006	1	0	0	0	0	5
43	53004	1	0	1	0	0	5
44	44903	3,5	3	4	5	0	6
45	40013	2,5	2	1	3	7	6
46	32007	2,5	17	19	18	9	23
47	55522	2,5	2	3	3	0	0
48	77408	2,5	2	5	0	0	5
49	11855	1	3	5	6	0	1
50	63274	2,5	0	7	5	0	3
51	34309	2	0	7	4	0	16
52	73544	2,5	2	8	6	2	0
53	81400	3,5	8	8	10	9	15
54	45504	1	3	2	7	2	8
55	62514	4	19	19	12	9	24
56	84195	4	11	19	8	4	18
57	96477	3	3	7	0	2	12
58	99421	1	0	0	0	1	7
59	75527	3	14	15	11	9	24
60	61454	1	1	0	0	0	12
61	55223	1	0	7	5	0	8
62	46555	2,5	4	5	3	6	21
63	22583	2,5	3	1	8	2	0
64	11773	2,5	3	4	2	4	7
65	44900	3	3	0	10	9	17
66	11733	3,5	8	0	5	0	11
67	25835	2,5	2	2	0	0	0
68	49011	1	0	0	3	0	8
69	33300	1	1	1	0	3	3
70	55233	3,5	5	2	0	0	0
71	61114	3,5	0	2	3	6	13
72	17730	1	0	0	7	3	0
73	44996	2,5	1	0	0	0	0
74	33011	2,5	3	2	0	0	2
75	52317	1	0	6	11	2	7
76	61455	2,5	2	1	0	6	11
77	61445	1	0	0	0	1	0
78	46655	1	1	7	0	0	0
79	30011	3	9	0	2	4	12
80	25850	4	7	3	5	4	14
81	52331	3,5	2	4	3	1	8
82	33001	2,5	0	6	0	6	5

83	61145	1	0	0	0	0	0
84	30114	1	1	3	0	4	15
85	17300	2,5	2	0	2	2	0
86	52233	2,5	4	2	6	0	0
87	49901	2,5	3	12	2	4	4
88	17733	3,5	5	5	6	0	0
89	22585	2,5	2	5	5	0	10
90	75273	1	1	0	0	0	8
91	25830	1	0	5	12	4	18
92	22883	2,5	2	7	10	0	5
93	44995	2,5	13	10	18	2	19
94	77527	1	0	11	0	0	13
95	49555	2,5	3	6	0	3	6
96	77552	4	11	15	18	7	24

Tabelle 67: Tabelle Vergleich spezifischer Röntgenmerkmale mit den anatomischen Befunden

Laufende Nr.	Nummer	KO2	KO3	Sk1	Sk7	A13	A14	A15
1	74170	3	0			0	2	0
2	90501	0	1	0	2	0	0	0
3	71033	1	0	1	2	1	2	0
4	10244	1	0	1	2	2	0	0
5	92427	0	0	0	1	2	1	0
6	41122	0	2	0	1	0	0	0
7	64011	2	0	1	2	2	2	0
8	71433	1	0	1	2	0	0	0
9	37552	1	0	1	2	0	0	0
10	26990	0	0	1	2	2	1	0
11	53770	0	0	2	0	3	2	2
12	19704	2	2	2	2	3	2	2
13	35796	2	3	2	0	3	3	3
14	52324	0	0	1	0	1	0	0
15	96307	0	0	0	0	0	0	0
16	72637	0	0	0	2	0	0	0
17	69605	1	0	2	0	0	0	0
18	39724	1	0	1	0	0	0	0
19	56204	0	2	0	0	0	0	0
20	20055	0	1	0	2	0	0	1
21	47122	0	1	0	2	0	1	0
22	79644	0	2	0	1	1	0	0
23	37345	0	0	1	1	2	0	0
24	76015	3	3	3	3	3	3	3
25	51705	1	2	1	2	1	0	0
26	31003	0	0	1	2	1	0	0
27	72435	1	0	0	1	0	0	0



28	77440	0	0	0	3	2	2	0
29	37100	0	0	0	3	2	2	0
30	35472	2	0	0	1	0	0	0
31	30112	0	0	2	0	0	0	0
32	54337	1	1	2	0	0	0	0
33	82074	0	0	0	2	0	0	0
34	30569	0	1	0	2	1	1	0
35	36920	0	0	0	2	0	0	0
36	29377	0	0	0	1	0	0	0
37	70411	3	3	3	0	3	3	3
38	79693	0	0	0	0	1	0	0
39	32699	3	2	2	2	2	2	0
40	38342	0	0	0	2	0	0	0
41	25112	2	3	1	0	2	2	3
42	71006	0	0	0	0	1	0	0
43	53004	0	0	0	0	1	0	0
44	44903	1	1	0	0	1	0	0
45	40013	1	0	3	0	1	0	0
46	32007	3	3	3	2	3	3	3
47	55522	1	0	0	2	0	0	0
48	77408	0	0	0	0	1	0	0
49	11855	0	2	0	0	0	0	0
50	63274	2	0	0	0	1	0	0
51	34309	1	0	0	0	2	1	0
52	73544	2	0	1	2	0	0	0
53	81400	1	2	3	3	2	0	2
54	45504	0	2	1	0	2	2	0
55	62514	3	0	3	3	3	3	3
56	84195	3	0	1	2	2	2	0
57	96477	0	0	0	3	2	1	0
58	99421	0	0	0	2	0	0	0
59	75527	1	2	3	3	3	3	3
60	61454	0	0	0	1	2	0	0
61	55223	2	0	0	0	1	0	0
62	46555	1	0	2	3	3	3	0
63	22583	1	2	1	0	0	0	0
64	11773	1	0	2	0	1	0	0
65	44900	0	3	3	0	2	3	0
66	11733	2	0	0	2	2	2	0
67	25835	0	0	0	0	0	0	0
68	49011	1	0	0	0	1	1	0
69	33300	0	0	1	0	1	0	0
70	55233	0	0	0	0	0	0	0
71	61114	1	0	2	2	1	2	0
72	17730	2	0	1	2	0	0	0
73	44996	0	0	0	0	0	0	0
74	33011	0	0	0	0	0	0	0

75	52317	2	2	1	0	2	2	0
76	61455	0	0	2	2	1	2	0
77	61445	0	0	0	1	0	0	0
78	46655	0	0	0	0	0	0	0
79	30011	1	0	2	0	2	2	0
80	25850	2	0	2	3	2	1	0
81	52331	1	0	0	2	1	1	0
82	33001	0	0	2	0	1	0	0
83	61145	0	0	0	1	0	0	0
84	30114	0	0	1	3	2	1	0
85	17300	1	0	1	0	0	0	0
86	52233	0	2	0	0	0	0	0
87	49901	1	0	1	2	1	0	0
88	17733	0	2	0	1	0	0	0
89	22585	1	1	0	0	1	0	0
90	75273	0	0	0	0	1	0	0
91	25830	2	2	1	2	2	2	0
92	22883	3	0	0	0	1	0	0
93	44995	3	3	1	0	2	3	0
94	77527	0	0	0	0	1	0	0
95	49555	0	0	1	0	1	0	0
96	77552	3	3	3	0	3	3	3

### 13.2 Sensitivität und Spezifität

**Tabelle 68: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und mindestens 1 positiver Röntgenbefund**

		Anzahl positiver Befunde		Gesamt
		0	1, 2, 3 und 4	
Hufrolle- Präparation	1 und 2	40	26	66
	3 und 4	4	25	29
Gesamt		44	51	95

**Tabelle 69: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und mindestens 2 positive Röntgenbefunde**

		Anzahl positiver Befunde		Gesamt
		0 und 1	2, 3 und 4	
Hufrolle- Präparation	1 und 2	62	4	66
	3 und 4	11	18	29
Gesamt		73	22	95

**Tabelle 70: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und mindestens 3 positive Röntgenbefunde**

		Anzahl positiver Befunde		Gesamt
		0, 1 und 2	3 und 4	
Hufrolle- Präparation	1 und 2	66	0	66
	3 und 4	17	12	29
Gesamt		83	12	95

**Tabelle 71: Kreuztabelle Hufrollen-Klasse und 4 positive Röntgenbefunde**

		Anzahl positiver Befunde		Gesamt
		0, 1, 2 und 3	4	
Hufrolle- Präparation	1 und 2	66	0	66
	3 und 4	19	10	29
Gesamt		85	10	95

**Tabelle 72: Sensitivität für die Merkmale aus Tabelle 52 bis 56**

		Merkmal KO2 (Anreicherung KM) mit 2 oder 3 bewertet	
Merkmal A14 Oberfläche TBS	2	52,94%	n=17
	3	70,00%	n=10
		Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche) mit 2 oder 3 bewertet	
Merkmal A14 Oberfläche TBS	2	37,50%	n=16
	3	90,00%	n=10
		Merkmal KO3 (Aufhellung im Kontrastmittelfaden) mit 2 oder 3 bewertet	
Merkmal A15 ( Verklebung/ Verwachsung TBS)	2	66,67%	n= 3
	3	87,50%	n=8
		Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche) mit 2 oder 3 bewertet	
Merkmal A15 ( Verklebung/ Verwachsung TBS)	2	100,00%	n=3
	3	87,50%	n=8
		Merkmal Sk7 (Beurteilung "Drei Linien") für 2 und	

		3	
Merkmal A14 Oberfläche TBS	2	100,00%	n=11
	3	100,00%	n=5
		Merkmal Sk7 (Beurteilung "Drei Linien") =3	
Merkmal A14 Oberfläche TBS	2	18,18%	n=11
	3	80,00%	n=5

Tabelle 73: Spezifität für die Merkmale aus Tabelle 52 bis 56

		Merkmal A14 Oberfläche TBS	
Merkmal KO2 (Anreicherung KM)	2 und 3	89,86%	n=69
	3	98,56%	n=69
		Merkmal A14 Oberfläche TBS mit	
Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)	2 und 3	88,41%	n=69
	3	97,10%	n=69
		Merkmal A15 ( Verklebung/ Verwachsung TBS)	
Merkmal KO3 (Aufhellung im Kontrastmittelfaden)	2 und 3	83,53%	n=85
	3	97,65%	n=85
		Merkmal A15 ( Verklebung/ Verwachsung TBS)	
Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)	2 und 3	84,52%	n=84
	3	97,62%	n=84
		Merkmal A14 Oberfläche TBS	
Merkmal Sk7 (Beurteilung "Drei Linien")	2 und 3	31,43%	n=31
	3	88,57%	n=31

Tabelle 74: Sensitivität für die Merkmale aus Tabelle 59 bis 62

		Merkmal KO2 (Anreicherung KM)	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	2	39,13%	n=23
	3	70,00%	n=10
		Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	2	21,74%	n=23
	3	100,00%	n=10

		Merkmal Sk2 (Füllung der Bursa podotrochearis)	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	2	47,82%	n=23
	3	90,00%	n=10
		Merkmal Sk7 (Beurteilung "Drei Linien") für 2 und 3	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	2	81,25%	n=16
	3	100%	n=6
		Merkmal Sk7 (Beurteilung "Drei Linien") = 3	
Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung)	2	37,50%	n=16
	3	66,67%	n=6

Tabelle 75: Spezifität für die Merkmale aus Tabelle 59 bis 62

		Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung) mit 0 und 1 bewertet	
Merkmal KO2 (Anreicherung KM)	2 und 3	88,89%	n=63
	3	96,83%	n=63
		Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung) mit 0 und 1 bewertet	
Merkmal Sk1 (Kontrastmittelgrenzfläche)	2 und 3	87,30%	n=63
	3	98,41%	n=63
		Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung) mit 0 und 1 bewertet	
Merkmal Sk2 (Füllung der Bursa podotrochearis)	2 und 3	80,96%	n=63
	3	100,00%	n=63
		Merkmal A13 (Knorpel Gesamterscheinung) mit 0 und 1 bewertet	
Merkmal Sk7 (Beurteilung "Drei Linien")	2	27,59%	n=29
	3	100,00%	n=29

### 13.3 Berechnungsgrundlage der Korrelation

**Tabelle 76: Oxspring-Aufnahmen**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent	Kumulative Prozente
Gültig	Ohne Befund	54	56,3	56,3	56,3
	ggr. Befund	22	22,9	22,9	79,2
	mgr. Befund	7	7,3	7,3	86,5
	hgr. Befund	13	13,5	13,5	100
	Gesamtsumme	96	100	100	

**Tabelle 77: Skyline-Aufnahmen**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent	Kumulative Prozente
Gültig	Ohne Befund	42	43,8	43,8	43,8
	ggr. Befund	35	36,5	36,5	80,2
	mgr. Befund	9	9,4	9,4	89,6
	hgr. Befund	10	10,4	10,4	100
	Gesamtsumme	96	100	100	

**Tabelle 78: Oxspring-Kontrast-Aufnahmen**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent	Kumulative Prozente
Gültig	Ohne Befund	45	46,9	46,9	46,9
	ggr. Befund	28	29,2	29,2	76
	mgr. Befund	10	10,4	10,4	86,5
	hgr. Befund	13	13,5	13,5	100
	Gesamtsumme	96	100	100	

**Tabelle 79: Skyline-Kontrast-Aufnahmen**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent	Kumulative Prozente
Gültig	Ohne Befund	43	44,8	45,3	45,3
	ggr. Befund	18	18,8	18,9	64,2
	mgr. Befund	16	16,7	16,8	81,1

	hgr. Befund	18	18,8	18,9	100
	Gesamtsumme	95	99	100	
Fehlend	System	1	1		
Gesamtsumme		96	100		

**Tabelle 80: Hufrollenpräparation**

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozent	Kumulative Prozente
Gültig	Ohne Befund	35	36,5	36,5	36,5
	ggr. Befund	29	30,2	30,2	66,7
	mgr. Befund	13	13,5	13,5	80,2
	hgr. Befund	19	19,8	19,8	100
	Gesamtsumme	96	100	100	

**Tabelle 81: Tabelle Berechnung des gewichteten Kappa**

Aufnahme	Gewichtung	Kappa	Asymptomatischer Standardfehler	Z	P Wert	Lower 95% Asymptotic CI Bound	Upper 95% Asymptotic CI Bound
Oxspring	Linear	0,349	0,080	4,829	0,000	0,191	0,506
Skyline	Linear	0,280	0,081	3,963	0,000	0,122	0,438
Oxspring-Kontrast	Linear	0,358	0,079	4,891	0,000	0,204	0,512
Skyline-Kontrast	Linear	0,455	0,071	5,947	0,000	0,315	0,595

**Tabelle 82: Tabelle Berechnung Korrelationskoeffizient nach Lin**

Oxspring-Gesamt-Summe	Korrelationskoeffizient	,281**
	Sig. (2-seitig)	0,006
	N	96
Skyline-Gesamt-Summe	Korrelationskoeffizient	,305**
	Sig. (2-seitig)	0,002
	N	96
Oxspring-Kontrast-Gesamt-Summe	Korrelationskoeffizient	,388**
	Sig. (2-seitig)	0,000
	N	96
Skyline-Kontrast-Gesamt-Summe	Korrelationskoeffizient	,532**

	Sig. (2-seitig)	0,000
	N	95



### 13.4 Danksagung

Meinen herzlichen Dank gilt Herrn Prof. Hartmut Gerhards, der mir die Freiheit und Unterstützung bei der Entwicklung des Themas dieser Arbeit und bei der Durchführung bot.

Des Weiteren möchte ich Dr. Jens Körner, Dr. Stephan Leser und dem gesamten Klinikteam danken, die mir die Ausrüstung und die Räume für diese Arbeit stellten.

Ebenfalls möchte ich meinen Eltern Dr. Beate Stauenbiel und Prof. Rudolf Stauenbiel für die Unterstützung, ohne die mein Studium und diese Arbeit nicht möglich gewesen wären, danken.

Ein besonderer Dank gilt der Pferdemetzgerei Frank Dohrmann, welche mir die Proben gesammelt hat.

Ebenfalls möchte ich Frau Dr. Laura Pieper für die Beratung bei statistischen Fragen danken.

Zuletzt möchte ich allen weiteren Personen danken, die mich auf verschiedenste Art und Weise bei der Umsetzung dieser Dissertation unterstützt haben.

